

TRABAJO DE GRADO

**FORAMINÍFEROS DE LAS FORMACIONES JIMOL Y CASTILLETES (CUENCA
DE COCINETAS, ALTA GUAJIRA): TAXONOMÍA Y SIGNIFICADO
PALEOAMBIENTAL**

POR:

DANIEL DELGADO SIERRA

BIÓLOGO

DIRECTOR:

PhD. JOSÉ IGNACIO MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

MEDELLÍN, JUNIO 2015

Tabla de contenido

	Pág.
Listado de Figuras.....	I
Listado de Tablas.....	III
Listado de Anexos.....	IV
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Agradecimientos.....	VII
1. Introducción.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Contexto geológico.....	4
1.3.1. Formación Jimol.....	4
1.3.2. Formación Castilletes.....	4
1.4. Investigaciones micropaleontológicas previas.....	7
2. Métodos.....	9
3. Resultados.....	14
3.1. Paleontología sistemática de foraminíferos bentónicos.....	14
3.2. Paleontología sistemática de foraminíferos planctónicos.....	38
3.3. Asociaciones encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes.....	47
4. Discusión.....	57
4.1. Aportes al conocimiento micropaleontológico de las unidades estudiadas.....	57
4.2. Inferencias de edad a partir de foraminíferos planctónicos.....	60

	Pág.
4.3. Foraminíferos de la Isla de Barú como análogos modernos.....	63
4.4. Morfología del género <i>Ammonia</i> como indicador paleoambiental.....	67
4.5. Interpretación paleoambiental.....	71
4.6. Comparación con formaciones coetáneas de Venezuela.....	81
5. Conclusiones.....	84
6. Referencias.....	86
7. Anexos.....	96

Listado de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de las muestras usadas en el análisis micropaleontológico.

Figura 2. Sección estratigráfica generalizada de las formaciones del Neógeno que afloran en la Cuenca de Cocinetas.

Figura 3. Análisis de rarefacción de las muestras encontradas con recobro de foraminíferos. A. Formación Jimol vs Castilletes. B. Muestras con recobro en la Fm. Castilletes. C. Muestras con recobro en la Fm. Jimol.

Figura 4. Dendrograma del análisis de agrupamiento (un-constrained cluster, método UPGMA) realizado a las 14 muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes.

Figura 5. Distribución estratigráfica de las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes con frecuencias relativas (%) de los géneros más comunes colectados en el muestreo y los porcentajes de fauna hialina y porcelanacea de cada muestra.

Figura 6. Rangos cronoestratigráficos de las especies de foraminíferos planctónicos identificados en las Formaciones Jimol y Castilletes.

Figura 7. Ubicación geográfica de las localidades analizadas alrededor de la Isla de Barú (sur del Caribe colombiano).

Figura 8. Comparación del diámetro máximo de concha (representado en forma de boxplot) de los individuos de *Ammonia* obtenidos en las muestras de las Formaciones Jimol y Castilletes en que este género presento frecuencias altas.

Figura 9. Intervalos LSD (Mínima Diferencia Significativa de Fisher) con intervalo de confianza del 95%.

Figura 10. A. Análisis de medias de las muestras con *Ammonia* con intervalos de confianza del 95%. B. Modelo de regresión lineal en el que se infiere que el porcentaje de *Ammonia* en la asociación explica en un 58% la magnitud del diámetro máximo promedio de concha en las poblaciones de este taxón.

Figura 11. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes. A. Proporción de fauna infaunal y epifaunal en cada asociación. B. Número de especies y géneros descritos en cada asociación.

Figura 12. Representación de las asociaciones encontradas mediante un diagrama ternario según Hallock y Glenn (1986).

Figura 13. Representación de las asociaciones encontradas mediante un diagrama ternario según Murray (2006).

Figura 14. Distribución estratigráfica de la microfauna planctónica encontrada en las Formaciones Jimol y Castilletes. A. Se muestra la proporción entre los foraminíferos planctónicos de los géneros *Globigerina* y *Globigerinoides*, el porcentaje de la especie planctónica *G. praebulloides* encontrada de forma más común en el estudio, el porcentaje de fauna planctónica, la cantidad de foraminíferos por gramo (Foraminiferal number). B. valor TAU.

Figura 15. Ubicación aproximada de las formaciones en las Cuencas de Maracaibo, de Falcón y de la Península de Paraguaná que se correlacionan con las Formaciones Jimol y Castilletes.

Listado de tablas

Tabla 1. Resumen de las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes para análisis taxonómico y paleoecológico.

Tabla 2. A. Especies de foraminíferos bentónicos identificados. B. Especies de foraminíferos planctónicos identificadas.

Tabla 3. Comparación entre las faunas de foraminíferos encontrados en las Formaciones Jimol y Castilletes. A. Foraminíferos bentónicos y B. Foraminíferos planctónicos.

Tabla 4. Fauna descrita en común entre el presente estudio y trabajos micropaleontológicos previos realizados en la Cuenca de Cocinetas.

Tabla 5. Abundancia absoluta de los foraminíferos planctónicos identificados en las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes.

Tabla 6. Localidades modernas estudiadas alrededor de la Isla de Barú en el Caribe Colombiano.

Tabla 7. Localidades modernas con asociaciones de foraminíferos similares a las encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes.

Tabla 8. Resumen de las asociaciones de foraminíferos encontrados en las Formación Jimol y Castilletes donde se incluyen las variables analizadas.

Tabla 9. Unidades correlacionadas a la Formación Jimol.

Tabla 10. Unidades correlacionadas a la Formación Castilletes.

Listado de anexos

Anexo 1. Placas de foraminíferos identificados en el estudio.

Anexo 2. Listado de los foraminíferos bentónicos colectados en las Formaciones Jimol y Castilletes con sus respectivas frecuencias relativas

Resumen

Se determinó la sistemática paleontológica de 39 especies de foraminíferos bentónicos y 12 especies de foraminíferos planctónicos, encontrados en las Formaciones Jimol y Castilletes (Mioceno Temprano-Medio) de la Cuenca de Cocinetas en la Alta Guajira colombiana. A partir de estas se identificaron, por medio de un análisis de agrupamiento, 14 asociaciones de foraminíferos a través de las unidades geológicas estudiadas. La microfauna planctónica encontrada se usó para datar las unidades en el Burdigaliano y en el Langhiano. Para interpretar paleoambientalmente los datos: primero se compararon las asociaciones fósiles halladas con comunidades de foraminíferos de ambientes actuales del sur del Mar Caribe (Isla de Barú, Colombia) con el fin de encontrar análogos modernos. Posteriormente, la morfología del genero bentónico *Ammonia* fue usada como paleoindicador de condiciones de paleosalinidad, mostrando que esta metodología es promisoría como herramienta para inferir ambientes salobres y distancia con respecto a la costa. Por último, para cada asociación descubierta fue definido el número de géneros y especies, el índice de diversidad Alpha, la dominancia, el *FoRAM Index*, el *Foraminiferal number*, la proporción entre fauna infaunal/epifaunal, planctónica/bentónica y el género planctónico dominante en las muestras con recobro de fauna de este tipo. Por medio de una síntesis de los resultados obtenidos a partir de las metodologías usadas se reconstruyeron, para la Formación Jimol, condiciones marinas marginales en su sección media que pasan a ambientes de plataforma, para luego volver a entornos proximales. En la parte superior solo fueron encontradas muestras estériles. Para la parte baja de la Formación Castilletes fueron sugeridas condiciones marinas marginales que pasan a ambientes de plataforma interna profunda, que luego en la sección media pasan nuevamente a condiciones marinas marginales. En la parte superior no se encontraron muestras con recobro de microfauna. La evidencia microfaunal de ambientes deltaicos apoya inferencias previas de condiciones más húmedas durante el Mioceno temprano-medio en la Cuenca de Cocinetas. Paralelamente, para este mismo periodo de tiempo se sugieren periodos de surgencia oceánica a partir de la fauna planctónica encontrada. Finalmente se propone que existen superficies de inundación análogas a las presentes en las Formaciones Jimol y Castilletes en las Formaciones La Rosa y Querales de Venezuela.

Palabras clave: Foraminíferos bentónicos, Foraminíferos planctónicos, Cuenca de Cocinetas, Formación Jimol, Formación Castilletes, Mioceno.

Abstract

The systematic paleontology of 39 benthic and 12 planktic foraminiferal species found in Formations Jimol and Castilletes of the Cocinetas Basin (lower-middle Miocene) was determined. Based on these fauna, a cluster analysis was used to identify 14 foraminiferal assemblages that were subsequently located stratigraphically throughout the studied units. The planktic microfauna was used to assign the formations to the Burdigalian and the Langhian. To assess the paleoenvironmental meaning of the data; the fossil assemblages found were compared with modern foraminiferal communities of the southern Caribbean Sea (Barú Island, Colombia) in order to find modern analogs. Later, the morphology of the benthic genus *Ammonia* was used as a proxy to study paleosalinity, evidencing that this method is promising as a tool to infer ancient brackish environments and distance from the shoreline. Lastly, the number of genera and species, the Alpha diversity, the dominance, the FoRAM Index, the Foraminiferal number, the infaunal/epifaunal and planktic/benthic ratios were determined. The dominant planktic genus was also identified. Through a synthesis of the results obtained using the aforementioned methods, the following paleoenvironmental scenarios were rebuild: marginal marine conditions in middle Jimol Formation that later develop platform circumstances, that subsequently become proximal environments. Only barren samples were found in upper section. Regarding Castilletes Formation, marginal marine conditions were also inferred for the lower section, that develop deep inner platform environments in the upper lower part of the formation, that subsequently return to proximal conditions in the middle of the unit. No foraminiferal recovery was registered in the samples collected in the upper part. The deltaic related microfaunal evidence found agrees with previous suggestions of wet continental environments in the Cocinetas basin during the early Neogene. Equally, planktic evidence correlated with upwelling conditions is described for the same temporal range. Finally, marine ingressions analogous to the ones found in the Formations Jimol and Castilletes are suggested in the coeval La Rosa and Querales Formations of Venezuela.

Keywords: Benthic foraminifera, Planktic foraminifera, Cocinetas Basin, Jimol Formation, Castilletes Formation, Miocene.

AGRADECIMIENTOS

Expreso en estas líneas una gratitud inmensa por la Universidad EAFIT y el Instituto Smithsonian por haberme permitido realizar una maestría con base en el mundo de la paleontología que tanto me apasiona.

Un sincero agradecimiento al profesor José Ignacio Martínez por haber creído en mí y darme la oportunidad de pasar dos años aprendiendo sobre las dinámicas de cambio del Planeta Tierra a través de su historia. Igualmente a todos los profesores del área de Geología de la universidad, por los cuales siento una gran admiración.

También agradezco a la vida por haberme permitido conocer tantas personas valiosas en la universidad entre los estudiantes y egresados del programa de Geología, los cuales compartieron conmigo parte de su conocimiento además de brindarme su amistad. Una mención especial a los miembros del Semillero de Investigación en Paleontología, con los cuales compartí numerosas sesiones dedicadas a la discusión de temas relacionados a la historia de la vida a través de las eras geológicas. Espero que sigamos en contacto y sigamos forjando una comunidad de entusiastas de este campo.

Finalmente, quiero agradecer el apoyo incondicional de mi familia, con el cual estoy seguro que puedo superar cualquier obstáculo que se me presente en la vida. También a todos mis viejos amigos y a mi novia, por brindarme horas de risas y transmitirme tranquilidad y ánimos en los momentos complicados. Por último, también quiero dedicar de manera especial este trabajo a Sauron, a Sakura y a Rommel, los cuales me demostraron que en la vida las grandes amistades también pueden pertenecer a especies diferentes al *Homo sapiens*.

1. Introducción

1.1. Generalidades

El Neógeno temprano (Mioceno temprano-medio) fue una época de gran importancia para la historia del planeta. Durante este periodo se presentó el Optimo Climático del Mioceno (OCM) (Zachos et al., 2001; Holbourn et al., 2007; Holbourn et al., 2014), evento de gran interés para estudiar cómo reaccionan los ecosistemas mundiales a eventos de calentamiento global (e.g. Böhme, 2003; Sun y Zhang 2008; Moreno et al., 2015). Respecto al Mar Caribe, el Neógeno temprano representa un periodo relevante en vista de propuestas paleogeográficas recientes, en las que se propone un proceso de cierre de la conexión marina Centroamericana (*Central american seaway*) durante el Mioceno medio (Montes et al., 2015; Bacon et al., 2015). El estudio del Mioceno en el trópico es necesario para analizar las condiciones climáticas que se han presentado en el planeta bajo circunstancias de mayor temperatura global. De la misma manera, los paleoambientes y paleoclimas asociados a localidades neógenas del Sur del Mar Caribe, pueden brindar mayor información sobre el cierre de la conexión marina que existió en esta zona y cómo ésta afectó el clima a nivel regional.

Uno de los lugares del trópico en que afloran unidades de este tipo es la Cuenca de Cocinetas de la Alta Guajira colombiana. Esta ha sido descrita como una cuenca *pull apart* ubicada al occidente del Golfo de Venezuela entre las Serranías de Macuira, Jarara y Cocinas (Zapata, 2010; Moreno et al., 2015) (Fig. 1). Entre estas se incluyen las Formaciones Jimol (Renz, 1960) y Castilletes (Rollins, 1965), que han sido asignadas recientemente a un rango de tiempo que concuerda con el OCM, durante el Mioceno temprano y Mioceno medio (Moreno et al., 2015).

Desde la perspectiva paleoambiental, la Formación Jimol ha sido asociada a ambientes litorales y neríticos con base en variables estratigráficas y la malacofauna presente. Así mismo, la Formación Castilletes fue relacionada a condiciones marinas marginales con presencia de entornos salobres en algunas capas (Bürgl, 1960; Renz, 1960; Rollins, 1965). En la última década los estudios paleontológicos y estratigráficos de estas formaciones se han revitalizado. Trabajos recientes describen para la Fm. Jimol no solo la presencia de fauna marina, sino también fauna de características continentales (e.g. cocodrilos). Para la Fm. Castilletes se reportan así mismo este tipo de reptiles, junto con tortugas, peces de agua dulce y varios linajes de mamíferos (Zapata, 2010; Aguilera, 2013; Moreno et al., 2015; Cadena y Jaramillo, 2015).

El registro fósil hallado en estas unidades geológicas ha llevado a que se infiera una historia dinámica de variación del nivel de mar, en la que al parecer se presentaron tanto ambientes marinos como continentales. Paralelamente, la fauna de vertebrados encontrada sugiere un clima más húmedo durante el Mioceno que contrasta con las condiciones áridas actuales (Zapata, 2010; Moreno et al., 2015). Analizando los linajes que han sido usados como herramienta para reconstrucciones paleoambientales llama la atención la escasa información microfaunal reportada. Esta perspectiva, considerada como altamente útil para caracterizar ambientes marinos (Molina, 2000; Armstrong y Brasier, 2005; Murray 2006) ha sido mínimamente estudiada. El escaso conocimiento micropaleontológico de estas formaciones contrasta con los datos existentes relacionados a unidades coetáneas, tanto a nivel de Colombia (Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956; Duque-Caro, 1990; Fiorini y Jaramillo, 2007) como a nivel del Sur del Mar Caribe (Cushman y Todd, 1945; Cushman y Stainforth, 1945; Renz, 1948; Bermúdez, 1949; Díaz de Gamero, 1974; Díaz de Gamero, 1977; Díaz de Gamero, 1985).

Los datos relacionados a los foraminíferos de Jimol y Castilletes se limitan a pocas especies, las cuales en algunos casos presentan ubicaciones estratigráficas y descripciones taxonómicas poco específicas (Bürgl 1960; Renz, 1960; Rollins, 1965). La Formación Castilletes constituye el caso más extremo con solo dos géneros de foraminíferos previamente reportados (Bürgl, 1960; Renz, 1960). La baja diversidad microfaunal descrita contrasta con las condiciones de influencia marina adjudicadas a la unidad, que en teoría deberían estar asociados a una microfauna más diversa. El estudio de la fauna de foraminíferos de estas Formaciones puede ayudar a definir qué tipo de asociaciones se encuentran presentes además de que contribuiría a evaluar y complementar reconstrucciones paleoambientales previas.

Este trabajo pretende aportar al conocimiento micropaleontológico y paleoecológico de las Formaciones Jimol y Castilletes por medio de un estudio sistemático de los foraminíferos preservados en estas unidades. Para esto se tomaron muestras de roca, tanto vertical como lateralmente, a través de las secciones. A partir de estas se realizó la preparación micropaleontológica de los especímenes encontrados para su respectivo análisis. Las muestras con recobro de más de 100 especímenes fueron ubicadas estratigráficamente. La fauna hallada fue descrita con la mayor profundidad taxonómica posible para establecer la sistemática paleontológica de los fósiles con imágenes y descripciones morfológicas incluidas.

Las asociaciones microfaunales presentes fueron identificadas a partir de un análisis de agrupación y comparadas por medio de estudios de diversidad

(rarefacción). La fauna planctónica encontrada fue a su vez utilizada para establecer una datación de las unidades estudiadas a partir de biozonas y rangos cronoestratigráficos de foraminíferos planctónicos a nivel global y regional (e.g. Kennett y Srinivasan, 1983; Bolli y Saunders, 1985; Laccarino y Premoli-Silva, 2007; Rincón et al., 2007).

Para definir el significado paleoecológico de las asociaciones encontradas: (1) Se establecieron asociaciones análogas en ecosistemas actuales del Sur del Mar Caribe (Isla de Barú), (2) Se usó la morfología del género *Ammonia* como paleoindicador de condiciones de salinidad (sensu Bradshaw, 1961; Poag, 1978, Vénec-Plyré, 1983) y (3) se calculó para cada muestra: la cantidad de especies y géneros presentes, El Índice de diversidad Alpha, la dominancia, el *FoRAM Index*, el *Foraminiferal number*, las proporciones de fauna infaunal/epifaunal, planctónica/bentónica y el valor Tau. Así mismo se estableció el género planctónico dominante de las muestras con recobro de fauna de este tipo. Esto se realizó siguiendo las metodologías propuestas por autores como Bandy y Arnal (1960) Hallock y Glenn (1986), Gibson (1988) y Murray (2006).

Por último, las reconstrucciones paleoambientales logradas para las Formaciones Jimol y Castilletes fueron analizadas a la luz de las que fueron propuestas en estudios previos. Subsiguientemente los resultados también fueron comparados cualitativamente con reconstrucciones paleoecológicas de formaciones coetáneas al este del Golfo de Venezuela, ubicadas en las Cuencas de Maracaibo y Falcón y la Península de Paraguaná (e.g. Wheeler, 1966; Díaz de Gamero, 1974; Hunter y Bartok, 1974; Díaz de Gamero et al., 1988; Díaz de Gamero, 1989; Rey, 1996; Guzmán y Fisher, 2006). Esta comparación se realizó para analizar si las condiciones inferidas para las Formaciones Jimol y Castilletes podían ser explicadas por controles locales o regionales.

1.2. Objetivos

- Realizar la paleontología sistemática de los foraminíferos bentónicos y planctónicos colectados en las Formaciones Jimol y Castilletes.
- Datar las Formaciones Jimol y Castilletes a partir de foraminíferos planctónicos
- Inferir las condiciones paleoambientales de las Formaciones Jimol y Castilletes con base en la evidencia micropaleontológica y análogos modernos del sur del Mar Caribe.
- Comparar las circunstancias paleoecológicas y paleobatimétricas inferidas para las Formaciones Jimol y Castilletes (Mioceno Temprano tardío-Mioceno Medio

temprano) con las que han sido propuestas para las formaciones coetáneas del noroccidente de Venezuela: Agua Clara Superior, Cerro Pelado, Cantaure, La Rosa y Querales.

1.3. Contexto geológico

La sucesión Neógena de la Cuenca de Cocinetas de la alta Guajira colombiana está constituida por las Formaciones Uitpa (Rollins, 1965) del Oligoceno tardío-Mioceno temprano, Jimol (Renz, 1960) del Mioceno Temprano, Castilletes (Rollins, 1960) del Mioceno Temprano-Mioceno Medio y Ware del Plioceno Tardío (Moreno et al., 2015) (Fig. 2). Se describen a continuación las formaciones asociadas al Burdigaliano y al Langhiano en las que se colectaron muestras para el estudio micropaleontológico.

1.3.1. Formación Jimol

Nombrada por Renz (1960). Está localizada al suroriente de la Serranía de Jarará (Fig. 1). Está compuesta por areniscas calcáreas grises, bioesparitas de color amarillo a gris claro, limolitas cafés y lodolitas (Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010; Moreno et al., 2015). La unidad tiene 203 m de espesor medidos en el estratotipo. Su límite inferior se caracteriza por la presencia de calizas arenosas que suprayacen las arcillas de la Formación Uitpa (Rollins, 1965; Porta, 1974). El límite superior está ubicado en la base de una superficie consolidada en el tope de una bioesparita que aflora en el límite norte del Valle de Patajau (Fig. 1, cerca de los puntos de muestreo 34957 y 34960) (Moreno et al., 2015).

En la unidad se presenta una macrofauna rica en el género *Orthaulax*, el cual es un Gastrópodo común en formaciones del Caribe datadas en el Mioceno Temprano y en el Mioceno Medio temprano (Moreno et al., 2015). Se han encontrado también cocodrilos (Moreno-Bernal, 2014), otolitos, dientes de raya y tiburón (Zapata, 2010; Aguilera et al., 2013). La unidad es correlacionada con las Formaciones Agua Clara Superior y Cerro Pelado inferior en la Cuenca de Falcón y Cantaure de la Península de Paraguaná (Zapata, 2010; Moreno et al., 2015).

1.3.2. Formación Castilletes

Nombrada por Rollins (1965). Está localizada entre el Valle de Patajau y la población de Macaraipao en la parte central de la Cuenca de Cocinetas (Fig. 1). La unidad está compuesta por lodolitas masivas grises, lodolitas y limolitas fosilíferas, bioesparitas (*wackestones* y *packstones*) y areniscas fosilíferas de grano medio a conglomeráticas (Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010; Moreno et al., 2015). Presenta 421 m de espesor medidos en el estratotipo. El límite

inferior de la formación se caracteriza por una superficie consolidada en el tope de una bioesparita que aflora en el límite norte del Valle de Patajau. El límite superior es un contacto angular discordante con la Formación Ware, el cual no se encuentra comúnmente expuesto o se encuentra erosionado en la mayoría de los casos (Moreno et al., 2015).

La unidad tiene asociada una macrofauna compuesta por varios taxa de bivalvos y gastrópodos. También se han encontrado peces (e.g. Lamniformes y Carcharhiniformes), reptiles (e.g. Crocodilia, Testudines, Quelonia y Squamata) y mamíferos (e.g. Rodentia, Xenarthra y Cetacea) asociados a la formación (Thomas, 1972; Zapata, 2010; Moreno et al., 2015). La Fm. Castilletes ha sido correlacionada con las Formaciones Cerro Pelado Superior y Querales de la Cuenca de Falcón y Cantaure de la Península de Paraguaná (Zapata, 2010; Moreno et al., 2015).

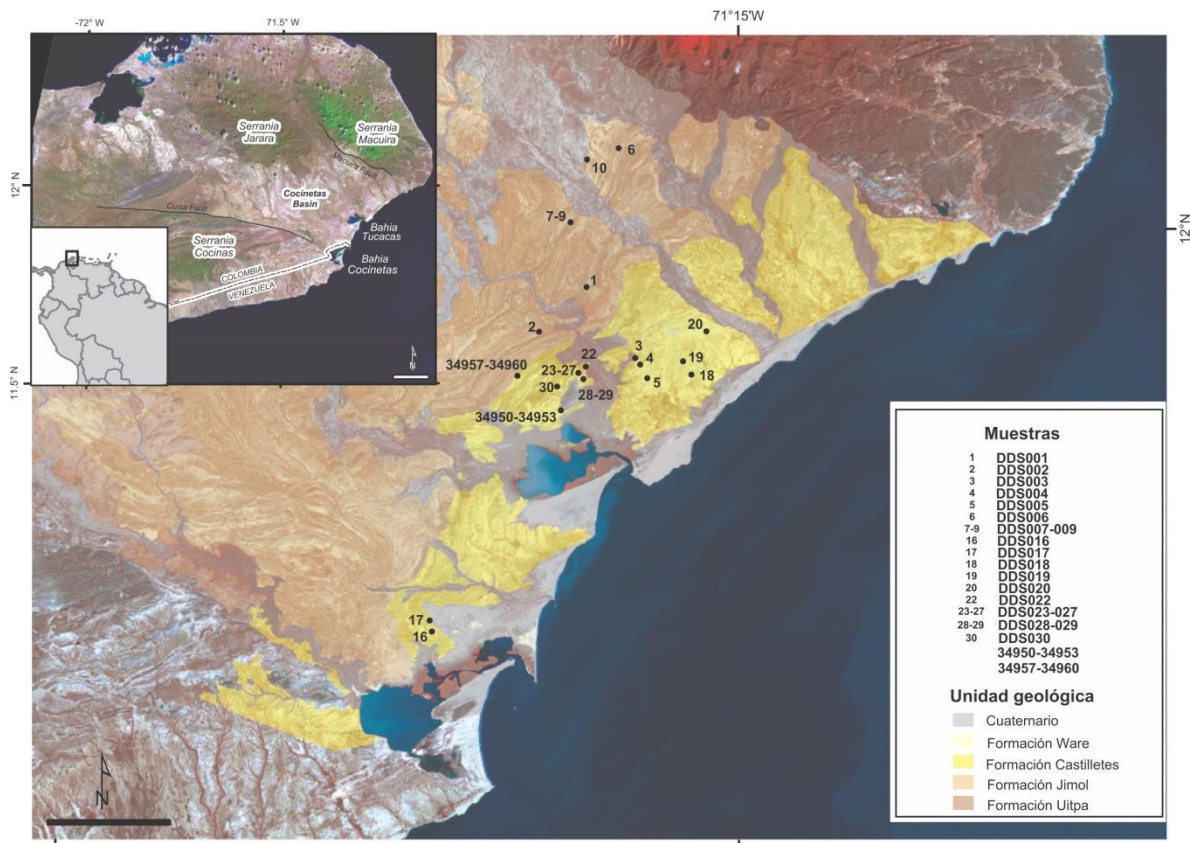
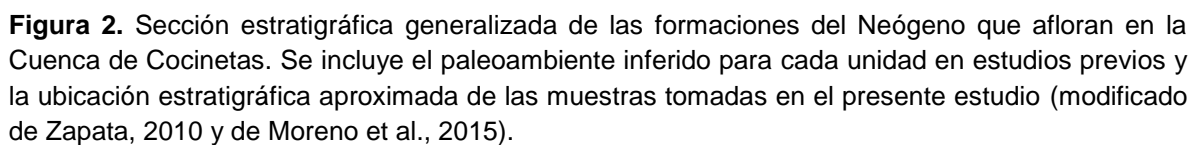


Figura 1. Ubicación de las formaciones del Neógeno que afloran en la Cuenca de Cocinetas en la Península de la Guajira al norte de Colombia. Se muestran también las localidades en las que se tomaron muestras para análisis micropaleontológico (modificado de Moreno et al., 2015).



1.4. Investigaciones micropaleontológicas previas

Las formaciones que afloran en la Cuenca de Cocinetas han sido analizadas a partir de la perspectiva micropaleontológica desde mediados del siglo XX (e.g. Becker y Dusenbury, 1958; Bürgl, 1960; Renz, 1960; Rollins, 1965) hasta principios del siglo XXI (Zapata, 2010). En estos trabajos se reportan para las Formaciones Jimol y Castilletes 25 especies bentónicas, sin incluir foraminíferos aglutinantes y porcelanaceos que no son descritos taxonómicamente. Solo 2 trabajos reportan fauna planctónica consistente en los géneros *Globigerina*, *Globigerinoides*, *Globigerinoita* y *Globorotalia* (Bürgl, 1960; Zapata, 2010). La baja diversidad descrita en estos estudios puede ser debida a que algunas de las muestras que se tomaron para análisis microfaunal tenían carácter exploratorio.

Becker y Dusenbury (1958) describieron una microfauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos extraídos cerca a los poblados de Uitpa y Sillamana. Un total de 137 especies y 58 géneros son reportados, con predominancia de las familias Lagenidae y Buliminidae entre la fauna bentónica y los planctónicos *Globigerina* cf. *bulloides* d'Orbigny y *Globigerina concinna* Reuss. Esta fauna es asignada al Aquitaniano y se asocia a ambientes de depositación relacionados a condiciones de mar abierto. Hoy en día, luego de reinterpretaciones de la estratigrafía de la Cuenca de Cocinetas (e.g. Renz, 1960; Zapata, 2010), las localidades muestreadas por Becker y Dusenbury (1958) se consideran parte de la Formación Uitpa, que probablemente pertenece a un rango cronológico ubicado entre el Oligoceno Tardío y el Mioceno Temprano (Zapata, 2010).

Renz (1960) reportó para la Formación Jimol una microfauna asociada a condiciones litorales y neríticas dominada por macroforaminíferos de los géneros *Miogypsina*, *Lepidocyclina* y *Heterostegina*. En la parte inferior de la Formación (120 m inferiores) fueron descritos los géneros *Textulariella* y *Amphistegina* junto con las especies *Miogypsina tani* Drooger, *M. irregularis* (Micheloti) y *Heterostegina israelsky* Gravell y Hanna. En los 820 m superiores se reportan miliolidos grandes (e.g. *Massilina*), los géneros *Archaias* y *Amphistegina* y las especies *M. irregularis*, *M. intermedia* Drooger, *M. cushmani* Vaughan y *M. (Miogypsinita) mexicana* Nuttall. Esta microfauna es asignada al Oligoceno Medio y Tardío respectivamente. En los sedimentos que afloran en el Cerro Jimol, ubicado en el borde Occidental de la Cuenca de Cocinetas, también se reporta una abundante fauna de macroforaminíferos de los géneros *Miogypsina*, *Lepidocyclina*, *Heterostegina* y *Amphistegina*. Posteriormente esta zona ha sido asociada a la Formación Siamana (Rollins, 1965; Moreno et al., 2015) por lo cual esta fauna posiblemente pertenece al Oligoceno Superior (Moreno et al., 2015).

Rollins (1965) asigna la Formación Jimol al Mioceno Medio a partir de la fauna de moluscos pero no reporta microfauna. Bürgl (1960) describe una microfauna asociada a un horizonte transgresivo en la periferia de la población de Siapana (Capas de Siapana), alrededor de la cual en la actualidad se considera que afloran sedimentos de la Fm. Jimol (Renz, 1960; Moreno et al., 2015). Los taxa planctónicos *Globigerina trilocularis* d'Orbigny, *Globigerinoides rubra* d'Orbigny, *Globigerinoita morugaensis* Bronnimann, *Globorotalia mayeri* Cushman y Ellisor y *Globorotalia praemenardii* Cushman y Stainforth son detallados. La fauna bentónica encontrada por Bürgl (1960) está representada por *Saracenaria italica carapitana* Franklin, *Buliminella elegantissima* (d'Orbigny), *B. basistriata nuda* Howe y Wallace, *Uvigerina subperegrina* Cushman y Kleimpell, *Bolivina imporcata* Cushman y Renz y *Cassidulinoides erecta* Cushman y Renz.

En un trabajo mas reciente, Zapata (2010) describe una fauna bentónica compuesta por *Cassidulina subglobosa* Brady, *Cibicidoides matanzasensis* (Hadley), *Bulimina* aff. *alligata* Cushman y Laiming, *Lenticulina americana* (Cushman), *L.* aff. *brevispinosa* Cushman y Laiming, *Nonion incisus* (Cushman), *Uvigerina isidroensis* Cushman y Renz, *U. carapitana* Hedberg, *Siphogenerina transversa* Cushman, *Spaheroidina bulloides* d'Orbigny, y *Planulina malariana* Hadley. Así mismo se menciona la presencia de taxa de los géneros *Nodosaria*, *Bolivina* y *Rotalia*. Entre la fauna planctónica reportada se encuentra *Globorotalia semivera* (Hornibroock), *Globorotalia mayeri* Cushman y Ellisor, *Globigerinoides immatura* (LeRoy), *Globigerina venezuelana* Hedberg y *Globigerina praebulloides* Blow, los cuales son asignados al Mioceno Temprano alto y asociados a un ambiente de plataforma (Zapata, 2010).

Para la Fm. Castilletes se ha encontrado una microfauna más pobre en comparación con la Fm. Jimol. Renz (1960) reporta una fauna de foraminíferos bentónicos dominada por el género *Miogypsina* restringida a la parte inferior. El hallazgo de *Miogypsina antillea* (Cushman) dentro de esta fauna llevó a Renz (1960) a asignar la parte baja de la Fm. Castilletes al Mioceno Temprano. Rollins (1965) describe una microfauna compuesta por formas aglutinantes consideradas no aptas para datación, aun así asigna la unidad a un rango temporal ubicado entre el Mioceno y el Plioceno basado en evidencia estratigráfica. Bürgl (1960) detalla para los alrededores de Puerto López, considerados por autores posteriores como zonas donde aflora la Formación Castilletes (Renz, 1960; Moreno et al., 2015), una fauna pobre compuesta en su mayoría por *Streblus beccarii* (Linneo). Estos autores coinciden en asociar la microfauna presente a condiciones marinas marginales. En un análisis micropaleontológico reciente de la Fm. Castilletes no fueron encontradas muestras con recobro de foraminíferos (Zapata, 2010).

2. Métodos

Muestreo y extracción de microfósiles

Un total de 29 muestras fueron colectadas a partir de estratos finogranulares calcáreos a lo largo de las Formaciones Jimol y Castilletes. De cada horizonte se colectaron entre 150 y 200 g de roca. Cada muestra fue disgregada mediante exposición, por 24 horas, a una solución de 90% de agua y 10% de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30%). El sedimento resultante fue tamizado para retirar el material arcilloso y separado en tres fracciones de 63, 125 y 250 μm . Las fracciones de 125 μm y 250 μm fueron cuarteadas usando un *Microsplitter* para reducir el tamaño de la muestra hasta conseguir un mínimo de 100 individuos (Tamaño de muestra estadísticamente significativa según Murray, 1991; Fatela y Taborda, 2002). De cada muestra se tomaron independientemente 0,5 g para determinar el número de foraminíferos por gramo (*Foraminiferal number*).

Taxonomía de Microfósiles

Los foraminíferos extraídos fueron ubicados en placas micropaleontológicas y clasificados por morfogrupos usando un estereomicroscopio *Nikon SMZ-1*. La clasificación supragenérica de los foraminíferos bentónicos y planctónicos se realizó a partir de Loeblich y Tappan (1988) y la nomenclatura propuesta en el *World Foraminifera Database* (www.marinespecies.org/foraminifera/). A nivel de especie, la taxonomía de los foraminíferos bentónicos se basó en publicaciones que referencian localidades modernas y del Neógeno del Mar Caribe (e.g. Cushman y Ponton, 1932; Cushman, 1938; Cushman y Stainforth, 1945; Cushman y Todd, 1945; Renz, 1948; Bermúdez, 1949; Redmond, 1953; McCulloch, 1981; Bolli et al., 1994). La taxonomía de los foraminíferos planctónicos se realizó de acuerdo a publicaciones relacionadas al Cenozoico (e.g. Postuma, 1971; Kennett y Srinivasan, 1983; Bolli y Saunders, 1985; Laccarino y Premoli-Silva, 2007; Rincón et al., 2007). Las imágenes y descripciones de www.foraminifera.eu y www.marinespecies.org/foraminifera/ también fueron utilizadas para la clasificación taxonómica.

Las especies identificadas se fotografiaron usando un estereomicroscopio *Zeiss Discovery V.8* con cámara incorporada y con un microscopio electrónico de barrido (SEM) *Phenom G2 pro* (Laboratorios de Materiales y de Física Aplicada de la Universidad EAFIT). El repositorio final de las muestras analizadas será la Universidad EAFIT de Medellín Colombia (Tabla 1).

Identificación de asociaciones en las muestras con recobro de foraminíferos

Se agruparon las muestras similares en su composición faunística por medio de un análisis de agrupamiento (*clúster*), usando el método de agrupamiento pareado no ponderado utilizando media aritmética (UPGMA) (Sneath y Sokal, 1973) y calculando los coeficientes de distancia por medio de distancia euclidiana. Los grupos encontrados a partir de este análisis fueron considerados como asociaciones de foraminíferos representativas de diferentes paleoambientes con base en su estructura común. La comparación entre la diversidad de las Formaciones Jimol y Castilletes, y entre las muestras con recobro de foraminíferos (<100 especímenes) en cada unidad geológica se realizó mediante curvas de rarefacción (e.g. Tipper, 1979; Adrain et al., 2000) basadas en el algoritmo propuesto por Krebs (1989). Ambos análisis se realizaron en el software PAST® (<http://folk.uio.no/ohammer/past/>).

Datación de las unidades a partir de la fauna planctónica

La fauna planctónica recolectada fue usada para datar las Formaciones Jimol y Castilletes a partir de biozonas y rangos cronoestratigráficos de foraminíferos planctónicos a nivel global y regional (e.g. Kennett y Srinivasan, 1983; Bolli y Saunders, 1985; Laccarino y Premoli-Silva, 2007; Rincón et al, 2007). Estos resultados fueron posteriormente discutidos a la luz de dataciones previas realizadas en las unidades geológicas examinadas (Renz, 1960; Bürgl, 1960; Zapata, 2010; Moreno et al., 2015).

Análisis paleoambiental de las asociaciones encontradas

Para interpretar el significado paleoecológico de las asociaciones de foraminíferos se usaron varias estrategias:

1) Análogo moderno

Con el fin de interpretar paleoecológicamente los datos micropaleontológicos resultantes se realizó una comparación de las asociaciones analizadas en las formaciones del Mioceno de la Alta Guajira con los datos de 8 localidades modernas del sur del Mar Caribe (alrededor de la Isla de Barú, sur de Cartagena, Colombia) (Fig. 7). Estas localidades representan diferentes tipos de ambientes marinos marginales incluidos estuarios, arrecifes y lagunas. Las muestras colectadas en estos ambientes fueron analizadas bajo los mismos parámetros que las asociaciones fósiles para buscar análogos modernos de los paleoambientes inferidos en las Formaciones Jimol y Castilletes.

2) Morfología del género *Ammonia*

Se realizó la medición del diámetro máximo de la concha de 40 individuos obtenidos de forma aleatoria a partir de muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes, en las cuales el género *Ammonia* estuviera presente en una proporción mayor al 20%. Los datos de diámetro de dos localidades estuarinas modernas de la Isla de Barú, estudiados bajo los mismos parámetros (40 individuos), fueron incluidos en el análisis. De esta manera se buscó identificar asociaciones fósiles con presencia de este género con tamaño análogo al que se presenta en poblaciones modernas de ambientes eurihalinos y cercanos a la costa.

Luego de probar que los datos obtenidos presentaran distribución normal y que no tuvieran diferencias significativas de varianza (Test de Levene), se procedió a analizar los promedios de las muestras mediante el método de Mínima Diferencia Significativa de Fisher (LDS) (extensión de la prueba t de Student) y un análisis de medias, usando un intervalo de decisión del 95%, por medio del software STATGRAPHICS. Estos métodos son útiles para observar que muestras específicas presentan promedios de diámetro total con diferencias estadísticamente significativas que permitan inferir condiciones paleobatimétricas y de salinidad.

3) Análisis de la estructura de las asociaciones fósiles

A. Se analizó la abundancia de géneros y especies presentes en cada asociación, teniendo en cuenta la abundancia relativa (%) de cada taxón. Los porcentajes de fauna de modo de vida infaunal y epifaunal se determinaron con base en datos ecológicos de Murray (1991). Adicionalmente se estimó el índice Alfa de Fisher, la dominancia para cada asociación y el FoRAM Index (*Foraminifera in Reef Assessment and Monitoring Index*), el cual estima condiciones aptas para el crecimiento de arrecife coralino. El número de géneros, el número de especies, el índice Alfa de Fisher (incluyendo y excluyendo taxa planctónicos) y la dominancia fueron calculados usando el software PAST®.

B. Para estimar distancia con respecto a la línea de costa y la paleobatimetría relativa se usó: (a) el porcentaje de foraminíferos planctónicos, (b) la tasa planctónico/bentónico, (c) el valor Tau (Gibson, 1988) y (d) la diversidad Alfa, cuyos índices están relacionados con ambientes de plataforma cuando son >7, plataforma somera entre 7 y 5, y lagunas híper e hiposalinas cuando son <5 (e.g. Távora. y Fernandes, 1999; Murray, 2006). Las proporciones de los géneros *Globigerina* y *Globigerinoides* también fueron determinadas en las muestras con

recobro de fauna planctónica para estimar temperatura relativa del agua (e.g. Chaproniere, 1992; Li y McGowran, 1994).

C. Para cada asociación las abundancias porcentuales de foraminíferos hialinos, aglutinantes y porcelanaceos se presentan en diagramas ternarios (Murray, 2006), al igual que las abundancias porcentuales del género *Amphistegina* en relación con los foraminíferos planctónicos, rotálidos y miliólidos (Hallock y Glenn, 1986).

Comparación con formaciones coetáneas

Buscando entender en contexto regional la reconstrucción paleoambiental de las Formaciones Jimol y Castilletes inferida en el presente trabajo, se realizó una comparación de carácter cualitativo con reconstrucciones realizadas en unidades estratigráficas coetáneas del Mioceno Inferior y Medio. Estas incluyen formaciones al oriente del Golfo de Venezuela tales como Agua Clara Superior, Cerro Pelado y Querales de la Cuenca de Falcón, La Rosa de la Cuenca de Maracaibo y Cantaure de la Península de Paraguaná (Wheeler, 1963; Hunter y Bartok, 1974; Díaz de Gamero, 1974; 1989; Guzmán y Fisher, 2006). Esto se realizó para evaluar si las condiciones ambientales estimadas respondían a controles locales o regionales.

Tabla 1. Resumen de las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes para análisis taxonómico y paleoecológico. Se muestran los códigos de identificación de las muestras que se usaron durante los procedimientos de laboratorio (Personal-ID), el código que posee cada muestra en la base de datos del Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) (MUN-STRI-ID) y el código de la localidad fosilífera en que se colectó cada muestra (Local-ID) que puede ser encontrado en Moreno et al. (2015).

Personal ID	MUN-STRI-ID	Local-ID	Peso muestra (g)	Foraminiferal number f/g	Latitud	Longitud	Formación
DDS001	37345	290804	40,8	Barren	11.9791667°	071.3058333°	Jimol
DDS002	37346	290808	34,9	Barren	11.9635806°	071.3236500°	Jimol
DDS003	37347	290811	43,7	18	11.9514889°	071.2865389°	Castilletes
DDS004	37348	430201	44,8	Barren	11.9498194°	071.2853111°	Castilletes
DDS005	37349	290813	32,7	Barren	11.9440389°	071.2827111°	Castilletes
DDS006	37350	290816	59,5	Barren	12.0349306°	071.2949889°	Jimol
DDS007	37351	290819	52,1	106	12.0042806°	071.3133111°	Jimol
DDS008	37352	290819	41,7	38	12.0042806°	071.3133111°	Jimol
DDS009	37353	290820	44,7	40	12.0042806°	071.3133111°	Jimol
DDS010	37354	290821	62,3	4	12.0290000°	071.3113000°	Jimol
DDS016	37363	290666	59,6	Barren	11.8526389°	071.3650694°	Castilletes
DDS017	37364	430202	55,3	Barren	11.8566306°	071.3655389°	Castilletes
DDS018	37365	290825	73,8	Barren	11.9459611°	071.2659111°	Castilletes
DDS019	37366	290829	63,3	Barren	11.9504694°	071.2687694°	Castilletes
DDS020	37367	290832	44,4	Barren	11.9621500°	071.2594306°	Castilletes
DDS022	37368	290837	59,5	38	11.9483194°	071.3055389°	Castilletes
DDS023	37369	290840	70,0	302	11.9469389°	071.3084806°	Castilletes
DDS026	37371	290841	68,8	26	11.9460583°	071.3083278°	Castilletes
DDS028	37374	290842	59,3	74	11.9442389°	071.3068806°	Castilletes
DDS029	37375	290843	65,8	42	11.9439000°	071.3067000°	Castilletes
DDS030	37376	340072	51,2	18	11.9413000°	071.3161111°	Castilletes
34950	34950	430101	21,7	Barren	11.9354000°	071.3090000°	Castilletes
34951	34951	430101	20,7	29	11.9354000°	071.3090000°	Castilletes
34952	34952	430101	16,5	Barren	11.9354000°	071.3090000°	Castilletes
34953	34953	430101	20,8	Barren	11.9354000°	071.3090000°	Castilletes
34957	34957	430103	48,7	Barren	11.9468000°	071.3322000°	Castilletes
34958	34958	430103	43,6	26	11.9468000°	071.3322000°	Castilletes
34959	34959	430103	42,2	Barren	11.9468000°	071.3322000°	Castilletes
34960	34960	430103	49,2	40	11.9468000°	071.3322000°	Castilletes

3. Resultados

3.1. Paleontología sistemática de foraminíferos bentónicos

La taxonomía de las 39 especies de foraminíferos bentónicos y 12 especies de foraminíferos planctónicos será descrita a continuación. Las referencias asociadas a las descripciones originales de cada especie se muestran en letra pequeña. Para las referencias con información morfológica y taxonómica usada para identificar los foraminíferos de las Formaciones Jimol y Castilletes se mantiene el tamaño de fuente.

Las placas micropaleontológicas se presentan en el anexo 1.

Taxa aglutinantes

Reino CHROMISTA

Infrareino RHIZARIA

Phylum FORAMINIFERA

Clase GLOBOTHALAMEA

Orden TEXTULARIIDA

Familia TEXTULARIIDAE

Género *Textularia* DeFrance, 1824

Textularia falconensis Cushman y Renz

Plate 1, figs. 1a-b

1941 *Textularia falconensis* Cushman y Renz, p. 3, pl. 1, fig. 3; Renz, 1948, p. 169, pl. 1, figs. 1a-c; Bolli et al., 1994, p. 292, fig. 76, 13a-b.

Descripción: Concha biserial y elongada de forma lanceolada y superficie arenácea; zona media de la concha más amplia que las zonas anteriores y posteriores; más de doce cámaras visibles separadas por suturas deprimidas que se curvan hacia la periferia.

Observaciones: Solo se colectó un individuo en una asociación dominada por el género *Ammonia* en la parte inferior de la Formación Castilletes. Esta especie fue igualmente encontrada en las Formaciones Agua Clara (*T. falconensis*, Wheeler,

1963), Cantaure (*T. falconensis*, Díaz de Gamero, 1974) y Agua Salada (*T. falconensis*, Renz, 1948) del norte de Venezuela.

Textularia panamensis Cushman

Plate 1, figs. 2a-c

1918 *Textularia panamensis* Cushman, p. 53, pl. 20, fig. 1; Renz, 1948, p. 170, pl. 1, figs. 21-22; Bolli et al., 1994, p. 292, fig. 76, 11-12. Smith et al., 2010, p. 272, fig. 5, 1.

Descripción: Concha biserial y de superficie arenácea; elongada hacia la zona apical; desde la perspectiva apertural la concha tiene una forma biconvexa lateralmente comprimida formando un margen periférico; más de diez cámaras visibles que aumentan progresivamente de tamaño separadas por suturas ligeramente visibles.

Observaciones: Se registra la presencia de este taxón desde la parte media de la Formación Castilletes hasta la parte media de la Formación Jimol, siendo más común en la parte media inferior de la Fm. Castilletes donde se encuentra en una asociación donde los taxa *Hanzawaia concentrica* y *Nonionella obducta* son dominantes. *Textularia panamensis* también ha sido colectado en unidades del Mioceno de la Península de Paraguaná (*T. panamensis*, Díaz de Gamero, 1974) y al oriente de la Cuenca de Falcón (*T. panamensis*, Renz, 1948).

Taxa porcelanaceos

Clase TUBOTHALAMEA

Orden MILIOLIDA

Familia HAUERINIDAE

Género *Quinqueloculina* d'Orbigny, 1826

Quinqueloculina lamarckiana d'Orbigny

Plate 1, figs. 3a-d

1839 *Quinqueloculina lamarckiana* d'Orbigny, p. 189, pl. 11, figs. 14-15; Palmer, 1945, p. 29; Bermúdez, 1949, p. 101, pl. 6, fig. 5; Redmond 1953, p. 5, pl. 74, figs. 3a-c. Molinares, 2007, pl. 2, figs. 4a-b.

Descripción: Concha ovalada con terminaciones agudas en la zona apical y apertural desde la perspectiva dorsal; forma triangular desde la perspectiva apertural; cámaras blancas angulosas y en algunos casos formando bordes agudos característicos; apertura ovalada y amplia.

Observaciones: Se registra la presencia de este taxón desde la parte media de la Formación Castilletes hasta la parte media de la Fm. Jimol. Fue encontrado con una presencia mayor en la zona inferior de la Fm. Castilletes y en la zona media de la Fm. Jimol. En la parte inferior de Castilletes se encontró haciendo parte de una asociación con presencia de foraminíferos planctónicos en bajas cantidades y donde *Ammonia parkinsoniana* y *Hanzawaia concentrica* fueron dominantes, mientras que en la zona media de la Fm. Jimol fue dominante en la asociación junto a especies del género *Nonionella* y taxa planctónicos.

Esta especie ha sido también colectada en sedimentos del Mioceno del norte de Colombia (Q. *lamarckiana*, Redmond, 1953; Q. cf. *lamarckiana*, Petters y Sarmiento, 1956), en la Cuenca de Falcón (Q. *lamarckiana*, Smith, Collins, Jaramillo, Quiroz, 2010), en Trinidad (Q. cf. *lamarckiana*, Cushman y Stainforth, 1945) y en República Dominicana (Q. *lamarckiana*, Bermúdez, 1949).

Quinqueloculina laevigata d'Orbigny

Plate 1 figs. 4a-d

Quinqueloculina laevigata d'Orbigny, 1826, p. 301, no. 6; Cimerman y Langer, 1991, p., pl.33, figs. 8-11; Javaux, y Scott, 2003, p.19, fig. 4, 11.

Descripción: Concha de forma ovalada y elongada desde la perspectiva dorsal y de ovalada a redondeada desde la perspectiva apertural; cámaras blancas separadas por suturas ligeramente deprimidas; apertura principal amplia y oblicua.

Observaciones: Solo se registra en la Formación Castilletes, siendo más frecuente en la zona media baja donde constituye un componente importante de las asociaciones.

Quinqueloculina costata d'Orbigny

Plate 2 figs. 1a-d

1826 *Quinqueloculina costata* d'orbigny, p. 301, no. 3; 1878, p. 63. Pl. 6, figs. 3a-5c; Cushman, 1917, p.49, pl. 15, fig. 1; 1922, p.66, pl. 11, fig. 5; 1929, p.31, pl. 3, figs. 7a-c; Cushman, y Ponton, 1932, p. 110, pl.2, figs. 2-3.

1915 *Miliolina costata* Herom-Allen y Earland, p. 579, pl. 44, figs. 9-12.

Descripción: Concha ligeramente más larga que amplia, de forma ovalada desde la perspectiva dorsal y de forma aplanada desde la perspectiva apertural; periferia redondeada; zona apertural con la presencia de una proyección; cámaras redondeadas separadas por suturas levemente deprimidas; Superficie porcelanacea, ornamentada por numerosas estrías (*costae*) longitudinales paralelas a los bordes y fácilmente distinguibles; presencia de apertura amplia y ovalada con labios proyectados.

Observaciones: Solo un individuo fue colectado en la zona media baja de la Formación Castilletes en una asociación con presencia escasa de planctónicos y una diversidad y dominancia importantes de miliolidos.

Quinqueloculina cf. seminulum (Linné)

Plate 2 figs. 2a-d

1785 *Serpula seminulum* Linné; p. 786.

1826 *Quinqueloculina seminulum* (Linné) d'Orbigny, p. 303; Cushman, 1929, p. 59, pl. 9, figs. 16-18; Galloway y Heminway, 1941, p. 305, pl. 2, fig. 8j; Bermúdez, 1949, pl. 6, fig. 6; Cimmerman y Langer, 1991, p., pl.34, figs. 9-12. Javaux, y Scott, 2003, p.19, fig. 4, 16-17; Molinares, 2007, pl. 2, figs. 5a-b.

Descripción: Concha ovalada, más larga que ancha desde la perspectiva dorsal; ovalada y aplanada desde la perspectiva apertural con bordes agudos y comprimidos; cámaras blancas de superficie lisa, separadas por suturas levemente visibles; apertura ovalada y con presencia de diente localizado hacia la periferia desde la perspectiva apertural.

Observaciones: Se registra de manera escasa en la zona media baja de la Formación Castilletes en asociaciones en las que también se presentaron foraminíferos planctónicos y la presencia de *Hanzawaia concentrica*. Así mismo, esta especie se ha encontrado en las Formaciones Carmen (*Quinqueloculina seminula*, Petter y Sarmiento, 1956), Agua Salada (*Q. seminula*, Renz, 1948) y en unidades del Mioceno de Republica Dominicana (*Q. seminulum*, Bermúdez, 1949).

Género *Massilina* Schlumberger, 1839

Massilina quadrans Cushman y Ponton

Plate 2 figs. 3a-e

1932 *Massilina quadrans* Cushman y Ponton, p. 112, pl. 3, figs. 6-8.

Descripción: Concha subcircular, ligeramente más larga que amplia y muy comprimida; concha de forma aplanada desde la perspectiva apertural; cámaras blancas y de superficie lisa separadas por suturas levemente deprimidas; apertura ovalada con la presencia de una labio que se proyecta y un diente elongado.

Observaciones: Este taxón se presenta de manera escasa en las zonas medias de las Formaciones Castilletes y Jimol.

Género *Triloculina* d'Orbigny, 1826

Triloculina trigonula (Lamarck)

Plate 2 figs. 4a-e

1804 *Miliolites trigonula* Lamarck, p.351, no. 3; 1807, pl. 17, fig. 4.

1826 *Triloculina trigonula* (Lamarck) d'Orbigny, p.299, no. 1 pl. 16, figs. 5-9; Modèles, 1826, no. 93; Cushman y Stainforth, 1945, p., pl. 2, fig. 18. Hofker, 1971, p. 17, figs. 18-23; Nomura y Seto, 1992, p.236, fig. 15, 8a-b.

1852 *Miliolina trigonula* Williamson, p.84, pl. 7, figs. 180-182; H.B. Brady, 1884; p. 164, pl. 3, figs. 14-16

Descripción: Contorno subcircular desde la perspectiva dorsal; triangular desde la perspectiva apertural y con bordes redondeados; cámaras robustas de paredes gruesas y color blanco, separadas por suturas deprimidas; apertura redondeada con presencia de diente sencillo o bífido.

Observaciones: Presencia registrada de este taxón en las Formaciones Jimol y Castilletes donde se encuentra de manera común. *T. trigonula* ha sido igualmente colectada en la Formación Cipero del Mioceno de Trinidad (*T. trigonula*, Cushman y Stainforth, 1945).

Taxa hialinos

Clase Incertae cedis

Orden LAGENIDA

Familia VAGINULINIDAE

Género *Lenticulina* Lamarck, 1804

Lenticulina americana (Cushman)

Plate 3 figs. 1a-d

1918 *Cristellaria americana* Cushman, p. 50, pl. 10, figs. 5-6.

1948 *Robulus americanus* (Cushman), Renz, p. 50, pl. 12, fig. 3.

1978 *Lenticulina americana* (Cushman) Molcikova, p. 129, pl. 1, fig. 1, text-fig. 2; Bolli et al., 1994, p. 295, fig. 77, 5.

Descripción: Concha grande, involuta, de forma subcircular; calcárea y lisa; biconvexa desde la perspectiva apertural con bordes comprimidos y agudos; cámaras moderadamente infladas y distinguibles que aumentan gradualmente de tamaño, separadas por suturas curvadas; presencia de disco umbonal visible desde la perspectiva umbilical; apertura principal radiada y terminal.

Observaciones: Se registra desde la zona media de la Fm. Castilletes hasta la zona media de la Fm. Jimol. Se encontró asociada a capas en que los foraminíferos planctónicos eran comunes. Se encontró de manera más numerosa en la zona media de la Fm. Jimol, como parte de una asociación en la que el género *Nonionella* es dominante. Esta especie también fue colectada en sedimentos del Mioceno del norte de Colombia (*Robulus americanus*, Petters y Sarmiento, 1956), al oriente de Cuenca de Falcón (*R. americanus*, Renz, 1948) y en la Península de Paraguaná de Venezuela (*Lenticulina americana*, Díaz de Gamero, 1974).

Lenticulina iota (Cushman)

Plate 3 figs. 2a-d

1923 *Cristellaria iota* Cushman p. 104, pl. 29, fig. 2; pl. 30, fig. 1.

1948 *Robulus iotus* (Cushman) Renz, p. 159, pl. 3, fig. 14.

1994 *Lenticulina iota* (Cushman) Bolli et al, p. 294, fig. 77, 3.

Descripción: Concha grande e involuta, planispiral y comprimida; superficie calcárea y lisa; contorno subcircular desde la perspectiva dorsal; biconvexa desde la perspectiva apertural con bordes comprimidos que se convierten en una quilla

aguda; más de 7 cámaras visibles en el último giro desde la perspectiva dorsal, las cuales están separadas por suturas curvadas; presencia de disco umbonal; la apertura principal es radiada y terminal.

Observaciones: Solo se colectó en la zona media de la Formación Jimol. Se encontró en asociaciones donde también ocurre *Lenticulina americana* y donde los foraminíferos planctónicos son comunes. Este taxón fue asimismo colectado en las Formaciones del Mioceno del norte de Colombia (*Robulus iotus*, Petters y Sarmiento, 1956), del oriente de Venezuela (*R. iotus*, Renz, 1948) y de República Dominicana (*R. iotus*, Bermúdez, 1949).

Lenticulina sp. 1

Plate 3 figs. 3a-d

Descripción: Concha involuta, planispiral; superficie calcárea y lisa; Biconvexa desde la perspectiva apertural con los bordes comprimidos que forman una pequeña quilla en la periferia; siete cámaras visibles que aumentan progresivamente de tamaño en el último giro desde la perspectiva dorsal, separadas por suturas levantadas y curvadas; la apertura principal radiada y terminal.

Observaciones: Este morfotipo tiene características similares a *Robulus dissimilis* (Bermúdez, 1949) el cual fue descrito en estudios realizados sobre foraminíferos del Terciario de República Dominicana. La diferencia radica en que *R. dissimilis* es descrito con 9 o 10 cámaras en el último giro mientras el morfotipo aquí descrito solo presenta siete.

Solo fueron colectados dos individuos en la parte media de la Formación Jimol. Este morfotipo se encontró en asociaciones donde también se encontraron foraminíferos planctónicos en cantidades importantes y *Lenticulina americana* y *L. iota*.

Clase GLOBOTHALAMEA

Orden ROTALIIDA

Familia NONIONIDAE

Género *Nonionella* Cushman, 1926

Nonionella miocenica Cushman

Plate 3 figs. 4a-d

1926 *Nonionella miocenica* Cushman, pt. 3, p. 62, pl. 32, figs. 8-16; Cushman, 1933, p. 193, pl. 23, fig. 3; 1939, p., pl. 8, figs. 9a-c. Bandy, 1950, p., pl. 41, figs. 6 a-c.

Descripción: Concha trocoide y asimétrica de espira leve; superficie calcárea y lisa; periferia ampliamente redondeada; más de siete cámaras visibles desde la perspectiva espiral, mientras que desde la perspectiva umbilical solo se observan seis; la última cámara se extiende ampliamente en forma de dedo, formando un escudo sobre la zona umbilical; cámaras infladas separadas por suturas deprimidas y curvadas.

Observaciones: Este taxón fue colectado muy escasamente en la parte inferior de la Formación Castilletes y en la parte media de la Formación Jimol.

Nonionella cf. danvillensis How y Wallace

Plate 3 figs. 5a-e

1932 *Nonionella danvillensis* How y Wallace, p. 52, pl. 9, figs. 5a-c; Cushman y MacGlamery, 1938, p. 114, pl. 25, figs. 1a-c; Cushman, 1939, p., pl. 8, figs. 3a-c.

Descripción: Concha trocoide, asimétrica y de espira leve; superficie calcárea y lisa; periferia ampliamente redondeada; más de siete cámaras que aumentan de tamaño progresivamente visibles desde las perspectivas umbilical y espiral; la última cámara con elongación hacia la zona umbilical; cámaras infladas separadas por suturas deprimidas y curvadas.

Observaciones: Al igual que la *N. miocenica*, este taxón también fue colectado en la parte inferior de la Fm. Castilletes y en la parte media de la Fm. Jimol en asociaciones con presencia de foraminíferos planctónicos. En la parte media de la Fm. Jimol es una de las especies que domina el asociación junto con otras especies del género *Nonionella* y *Quinqueloculina lamarckiana*.

Nonionella cf. pulchella Hada

Plate 4 figs. 1a-d

1931 *Nonionella pulchella* Hada, p. 120, fig. 79; Cushman, 1939, pl. 9, figs. 11a-c; Nomura y Seto, 1992, p.237, fig. 16, 9a-c.

Descripción: Concha oval y comprimida; margen redondeado desde la perspectiva apertural; superficie calcárea y lisa; cámaras que aumentan

progresivamente de tamaño, moderadamente infladas, separadas por suturas deprimidas y curvadas; la última cámara presenta una elongación que cubre la zona umbilical, extendiéndose hacia las suturas que separan cámaras posteriores formando una forma estrellada muy característica.

Observaciones: Este taxón fue colectado escasamente en la parte media de la Formación Jimol, haciendo parte de una asociación con una presencia importante de planctónicos y de varias especies del género *Nonionella*.

Nonionella cf. *jacksonensis* Cushman

Plate 4 figs. 2a-e

1933 *Nonionella jacksonensis* Cushman, p. 10, pl. 1, figs. 23a-c; 1935, p. 31, pl. 12, figs. 3,4; Cushman, 1939, pl. 8, figs. 2a-c; Abdulsamad y Barbieri, 1999, p. 55, pl.4, figs. 5-6.

Descripción: Concha más larga que ancha desde la perspectiva dorsal y de periferia redondeada; superficie calcárea y lisa; cámaras distinguibles que aumentan progresivamente de tamaño; última cámara inflada y de gran tamaño que se extiende sobre la zona umbilical; suturas deprimidas y curvadas.

Observaciones: Al igual que *N. cf. pulchella*, esta fue colectada de manera escasa en la parte media de la Fm. Jimol, haciendo parte de una asociación con una presencia importante de planctónicos y de varias especies del género *Nonionella*.

Nonionella obducta (Cushman y Stevenson)

Plate 4 figs. 3a-d

1948 *Nonion obductus* Cushman y Stevenson, pl. 9, figs. 13a-b.

2010 *Nonionella obducta*, (Cushman y Stevenson) Smith et al., p. 273, fig. 6, 20-22.

Descripción: Concha levemente más larga que ancha desde la perspectiva dorsal; superficie calcárea y lisa; forma levemente quillada en la periferia de las cámaras posteriores; cámaras visibles y numerosas, separadas por suturas deprimidas y semiradiales; última cámara con una leve proyección hacia la zona umbilical.

Observaciones: Su presencia es común desde la parte media de la Formación Castilletes hasta la parte media de la Formación Jimol. Su frecuencia fue mayor en

la zona media baja de la Formación Castilletes y en la zona media de la Formación Jimol donde se registró junto con *H. concentrica* y varias especies del género *Nonionella* haciendo parte de asociaciones con frecuencias altas de foraminíferos planctónicos. Esta especie ha sido encontrada igualmente en la Cuenca de Falcon de Venezuela (Smith et al., 2010). Especímenes de *Nonion incisum* colectados por Renz (1948) en la Fm. Agua Salada presentan una morfología similar.

Familia ELPHIDIDAE

Género *Criboelphidium* Cushman y Bronnimann, 1948

Criboelphidium poeyanum (d'Orbigny)

Plate 4 figs. 4a-d

1839 *Polystomella poeyana* d'Orbigny, p. 55, pl. 6, figs. 25, 26.

1930 *Elphidium poeyanum* (d'Orbigny) Cushman, pt. 7, p. 25, pl. 10, figs. 4, 5; 1930 p. 39, pl. 7, figs. 3, 4.; Cushman y Ponton, 1932, p. 69; Bermúdez, 1935, p. 187; Cushman, 1939, pl. 14, figs. 25, 26.

1984 *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny) Bolli et al., 1984, p. 360, fig. 80.11 a-b.; Molinares, 2007, pl. 5, figs. 17a-b.

Descripción: Concha calcárea pequeña planoespiral y comprimida de periferia redondeada; superficie lisa; zonas umbilicales levemente deprimidas; cámaras ligeramente infladas y distinguibles, separadas por suturas deprimidas y curvadas; puentes (*ponticuli*) pequeños y ligeramente visibles perpendiculares a la línea de las suturas.

Observaciones: Solo un individuo colectado en la Fm. Jimol. En la Fm. Castilletes solo se encontró en la parte baja, en una asociación donde también se registra la presencia de *Ammonia parkinsoniana*, *A. tepida* y *H. concentrica*. Esta especie también ha sido colectada en unidades del Mioceno de Venezuela (*Elphidium poeyanum*, Renz, 1948; Smith et al, 2010) y de República Dominicana (*E. poeyanum*, Bermúdez, 1949).

Género *Elphidium* Montfort, 1808

Elphidium sagrum (d'Orbigny)

Plate 4 figs. 5a-d

1839 *Polystomella sagra* d'Orbigny, p.55, pl. 6, figs. 19, 20; Cushman, 1918, p. 75, pl. 26, figs. 5a-b; 1920, p. 71, pl. 11, figs. 20, 21.

1930 *Elphidium sagrum* (d'Orbigny) Cushman, pt. 7, p. 24, pl. 9, figs. 5, 6; Cushman, 1930, p. 40, pl. 7, figs. 6a-b; Cole, 1931, p. 66, pl. 4, fig. 5; Cushman y Ponton, 1932, p. 70; Bermúdez, 1935, p. 188. Javaux, y Scott, 2003, p. 12, fig. 2, 20-21.

Descripción: Concha involuta de tamaño pequeño; ampliamente redondeada desde la perspectiva dorsal; biconvexa y ovalada desde la perspectiva apertural; cámaras infladas y numerosas, separadas por suturas no deprimidas y difíciles de observar; puentes distinguibles, cortos y amplios.

Observaciones: Solo un individuo colectado en la parte baja de la Formación Castilletes. En la parte media de la Formación Jimol fue registrado de manera escasa en un asociación con presencia de foraminíferos planctónicos y dominancia de los taxa *Amphistegina lessonii*, *H. concentrica* y *Triloculina trigonula*. *Elphidium sagrum* ha sido asimismo colectado en las Formaciones Agua Clara (*Elphidium sagrai*, Wheeler, 1963), Agua Salada (*E. sagrum*, Renz, 1948) Buff Bay (*E. sagrai*, Cushman y Todd, 1945) y en unidades del Mioceno de Republica Dominicana (*E. sagra*, Bermúdez, 1949).

Elphidium cf. *excavatum* (Terquem)

Plate 5 figs. 1a-d

1875 *Polystomella excavata* Terquem, p. 25, pl. 2, figs. 2a-f.

1930 *Elphidium excavatum* (Terquem) Cushman, p. 21, pl. 8, figs. 1-7; Cushman, 1939, pl. 16, figs. 7-12. Goldstein y Alve, 2011, p.4, fig. 3c.

Descripción: Concha calcárea pequeña y comprimida, de periferia ampliamente redondeada; superficie lisa; zonas umbilicales levemente deprimidas a veces con la presencia de botones umbilicales pequeños; ocho a diez cámaras infladas en el último giro, separadas por suturas deprimidas y distinguibles; puentes pequeños difíciles de distinguir.

Observaciones: Solo fue encontrado en la parte baja de la Formación Castilletes en un asociación donde fueron dominantes los taxa *A. parkinsoniana*, *A. tepida* y *H. concentrica*. La especie *Elphidium australe* Cushman y Parker descrita por Redmond (1953) en la Formación Tubará presenta una morfología similar.

Elphidium cf. *advenum* (Cushman)

Plate 5 figs. 2a-d

1884 *Polystomella subnodosa* Brady, p. 743, pl. 110, figs. 1a-b; Chapman, 1902, p. 203; Millet, 1904, p. 604; Bagg, 1908, p. 165.

1922 *Polystomella advena* Cushman, p. 56, pl. 9, figs. 11, 12; 1924, p. 48; 1926, p. 80.

1930 *Elphidium advenum* Cushman, p. 25, pl. 10, figs. 1, 2; 1930, p. 40, pl. 7, figs. 7a-b; Cushman y Ponton, 1932, p. 70, pl. 11, figs. 1a-b; Cushman, 1933, p. 650, pl. 12, figs. 1-3; Cushman, 1939, pl. 16, figs. 31-35; Javaux, y Scott, 2003, p. 12, fig. 2, 18-19.

Descripción: Concha calcárea de tamaño medio; comprimida desde la perspectiva apertural, periferia aguda en las cámaras posteriores; superficie lisa; regiones umbilicales muy levemente deprimidas, a veces con la presencia de un botón umbilical que no se proyecta más allá del contorno de la concha desde la perspectiva apertural; cámaras numerosas, de 10 a 15, levemente infladas que aumentan de tamaño progresivamente; suturas deprimidas con presencia de puentes cortos y levemente visibles.

Observaciones: Solo dos individuos fueron encontrados en parte media de la Fm. Jimol en un asociación donde *A. lessonii*, *H. concentrica* y *T. trigonula* son dominantes.

Elphidium cf. *chipolensis* (Cushman)

Plate 5 fig. 3a

1921 *Polystomella chipolensis* Cushman, p. 72, pl. 11, fig. 23.

1932 *Elphidium chipolensis* (Cushman) Cushman y Ponton, p. 70, pl. 11, figs. 3a-b; Cushman, 1939, pl. 12, figs. 12a-b.

Descripción: Concha de periferia redondeada con presencia de numerosas cámaras; suturas distinguibles, levemente curvadas, con puentes presentes; conservación muy deficiente.

Observaciones: Este morfotipo fue asociado a esta especie por las suturas que se alejan de la zona umbilical hacia la periferia, lo que lo diferencia del género *Archaias*. La presencia de numerosas suturas permite intuir varias cámaras, que junto a la forma redondeada, puentes aparentes y la ornamentación lleva a que en este trabajo se proponga una similitud con *Elphidium chipolensis*.

El reporte de este taxón en la zona de la Florida durante el Mioceno (Cushman, 1939) apoya la proposición de la afinidad con *E. chipolensis*.

Foraminíferos asignados a este taxón se hallaron en la parte media de la Fm. Castilletes y en la parte media de la Fm. Jimol. En la Castilletes se encontró junto a especies como *Q. laevigata* y *H. concentrica*, mientras que en la Fm. Jimol se colectó junto a especies como *A. lessonii*, *H. concentrica* y *T. trigonula*.

Familia BULIMINIDAE

Género *Bulimina* d'Orbigny, 1826

Bulimina illingi Cushman y Stainforth

Plate 5 figs. 4a-b

1945 *Bulimina* (*Desinobulimina*) *illingi* Cushman y Stainforth, p. 41, pl. 6, fig. 7; Bolli et al., 1994, p. 236, fig. 53, 20.

Descripción: Concha triserial, más larga que ancha e irregularmente ovalada; mayor ancho usualmente arriba de la zona media en dirección hacia la apertura; superficie calcárea y lisa sin presencia de ornamentaciones; pocas cámaras infladas, separadas por suturas deprimidas; apertura terminal con presencia de labio que se proyecta levemente de forma redondeada.

Observaciones: Solo fue colectado un individuo en la zona media de la Fm. Jimol, haciendo parte de una asociación donde varias especies del género *Nonionella* y *Q. lamarckiana* son dominantes. *Bulimina illingi* también fue encontrada en la Formación Cipero del Mioceno de Trinidad (Cushman y Stainforth, 1945).

Familia BULIMINELLIDAE

Género *Buliminella* Cushman, 1911

Buliminella curta Cushman

Plate 5 figs. 5a-b

1925 *Buliminella curta* Cushman, p. 43, pl. 8, fig. 4; Cushman y Laiming, 1931, p. 106, pl. 11, figs. 15-16; Cushman y Cahill, 1933 pp. 23-4, pl. 7, fig. 15; Smith et al., 2010, p. 272, fig. 5, 8-10.

Descripción: Concha calcárea triserial y alargada, dos veces más larga que ancha siendo la zona media la que presenta mayor tamaño, llevando a una forma

romboide; superficie lisa; cámaras infladas y ovaladas que aumentan progresivamente de tamaño, siendo más pequeñas las que están ubicadas hacia la punta apical; suturas deprimidas y aparentes; apertura semicircular que se extiende ligeramente hacia la zona media por un lado de la concha.

Observaciones: Fue colectado en la zona baja de la Formación Castilletes, haciendo parte de una asociación donde *H. concentrica* y *A. parkinsoniana* fueron dominantes. Esta especie fue asimismo encontrada en unidades del Mioceno de la Cuenca de Falcon (Smith et al., 2010)

Familia BOLIVINITIDAE

Género *Bolivina* d'Orbigny, 1839

Bolivina cf. *cochei* Cushman y Adams

Plate 5 fig. 6a

1935 *Bolivina cochei* Cushman y Adams, p. 19, pl. 3, fig. 6; Renz, 1948, p. 117, pl. 6, figs. 27, 28; Bolli et al., 1994, p. 297, fig. 78, 7-8.

Descripción: Concha biserial y comprimida, casi igual de larga que de ancha; periferia aguda con proyecciones de las cámaras hacia la periferia que forman espinas; superficie calcárea y lisa; más de 9 cámaras que aumentan progresivamente de tamaño visibles desde la perspectiva dorsal separadas por suturas deprimidas.

Observaciones: Solo un espécimen de preservación deficiente fue hallado en la parte media baja de la Fm. Castilletes y asignado a este taxón. Esta especie también fue descrita en unidades del Mioceno de la Cuenca de Falcon (*Bolivina* cf. *cochei*, Renz, 1948; *Bolivina cochei*? Smith et al., 2010).

Bolivina pisciformis Galloway y Morrey

Plate 5 figs. 7a-b

1929 *Bolivina pisciformis* Galloway y Morrey, p. 36, pl. 5, figs. 10a-b; Renz, 1948, p. 119, pl. 7, figs. 11, 12; Bolli et al., 1994, p. 236, fig. 53, 1.

Descripción: Concha calcárea biserial comprimida y alargada; dos veces más larga que ancha desde una perspectiva dorsal; periferia comprimida formando un borde agudo; área apertural más amplia que la apical ambas terminando en forma

aguda; superficie lisa; más de 14 cámaras levemente infladas visibles que aumentan progresivamente de tamaño; últimas cámaras más largas que anchas desde la perspectiva dorsal; suturas deprimidas y curvadas.

Observaciones: Se encontró solo un individuo de este taxón en la zona media de la Formación Jimol, haciendo parte de un asociación con una amplia presencia de foraminíferos planctónicos y dominado por varias especies del género *Nonionella* y *Q. lamarckiana*. Fue igualmente encontrado también en sedimentos del Mioceno de la República Dominicana (Bermúdez, 1949), de Jamaica (Cushman y Todd, 1945), del oriente de Venezuela (Renz, 1948) y al norte y occidente de Colombia (Petters y Sarmiento, 1956; Duque-Caro, 1990).

Bolivina pozonensis Cushman y Renz

Plate 5 figs. 8a-b

1941 *Bolivina pozonensis* Cushman y Renz, p. 19, pl. 3, fig. 12; Renz, 1948, p. 119, pl. 7, figs. 13a-b; Bolli et al, 1994, p. 297, fig. 78, 11.

Descripción: Concha biserial comprimida y alargada; dos veces más larga que ancha; bordes comprimidos y agudos; superficie calcárea y lisa; más de 10 cámaras levemente infladas que aumentan gradualmente de tamaño; cámaras más anchas que largas desde la perspectiva dorsal; suturas deprimidas y curvadas.

Observaciones: Solo dos individuos fueron colectados de este taxón en la zona media baja de la Formación Castilletes, haciendo parte de un asociación donde *H. concentrica* y *N. obducta* fueron dominantes. Esta especie también fue colectada en la Formación Agua Salada del oriente de Falcón (Renz, 1948).

Familia UVIGERINIDAE

Género *Uvigerina* d'Orbigny, 1826

Uvigerina rustica Cushman y Edwards

Plate 6, figs. 4a-b

1938 *Uvigerina rustica* Cushman y Edwards 1938, p. 83, pl. 14, fig. 6; Cushman y Stainforth, 1945, p. 47, pl. 7, fig. 13; Renz 1948, p. 175, pl. 7. figs. 23, 24; Bolli et al, 1994, p. 238, fig. 54, 6.

Descripción: Concha fornida y compacta; más larga que ancha, siendo la zona media la que alcanza mayor ancho desde una perspectiva dorsal; superficie calcárea y ornamentada con espinas; más de 10 cámaras moderadamente visibles; apertura ubicada en la punta de un cuello delgado ubicado en la cámara final.

Observaciones: Este taxón se encontró en la parte media de la Formación Jimol, haciendo parte de una asociación con una presencia importante de foraminíferos planctónicos y donde varias especies del género *Nonionella* y *Q. lamarckiana* son dominantes. *Uvigerina rustica* ha sido así mismo colectada en las Formaciones Carmen del norte de Colombia (Petters y Sarmiento, 1956), Uva de la Cuenca del Atrato (Duque-Caro, 1990), Agua Salada de la Cuenca de Falcón (Renz, 1948), Cipero de Trinidad (Cushman y Stainforth, 1945) Buff Bay (Cushman y Todd, 1945) y en unidades del Mioceno de la Republica Dominicana (Bermúdez, 1949).

Uvigerina capayana Hedberg

Plate 6, figs. 1a-c

1937 *Uvigerina pigmea* d'Orbigny var. *capayana* Hedberg, p. 677, pl. 91, fig. 19.

1945 *Uvigerina capayana* (Hedberg) Cushman y Stainforth, p. 48, pl. 7, fig. 15; Renz, 1948, p. 173, pl. 12, fig. 15; Bolli et al, 1994, p. 297, fig. 78, 37.

Descripción: Concha fornida y compacta; más larga que ancha, siendo más amplia en la parte submedial; superficie calcárea y ornamentada con costas; más de 6 cámaras levemente infladas visibles, unidas de manera estrecha; suturas deprimidas; apertura en la punta de un cuello redondeado que se proyecta a partir de la cámara final.

Observaciones: Solo dos individuos de este taxón se hallaron en la parte media baja de la Formación Castilletes en asociaciones en las cuales *H. concentrica* también es común. Esta especie ha sido colectada igualmente en sedimentos del Mioceno al oriente de la Cuenca de Falcón (Renz, 1948), en Trinidad (Cushman y Stainforth, 1945), en República Dominicana (Bermúdez, 1949) y posiblemente en el Norte de Colombia (*Uvigerina codazzii* ? Petters y Sarmiento, 1956).

Familia TRICHOHYALIDAE

Género *Buccella* Andersen, 1952

Buccella hannai (Phleger y Parker, 1951)

Plate 6 fig. 2a

1951 *Eponides hannai* Phleger y Parker, p. 21, pl. 10, figs. 11-14.

1952 *Buccella hannai* Andersen, p. 147, figs. 3a-c; Loeblich y Tappan, 1987, pl. 726, figs. 14-16; Smith et al., 2010, p. 273, fig. 6, 13-15.

Descripción: Concha calcárea planoconvexa; trocoespiral con más de 7 cámaras en el último giro; suturas engrosadas, oblicuas y curvadas hacia la periferia en el lado espiral; radiales y profundas desde la perspectiva apertural con presencia de gránulos hacia la zona umbilical.

Observaciones: De esta especie solo se colectó un individuo en la parte media de la Fm. Jimol, haciendo parte de una asociación en que *A. lessonii* fue común. Este taxón también fue colectado en sedimentos del Mioceno de la Cuenca de Falcón de Venezuela (Smith et al., 2010).

Familia ROSALINIDAE

Género *Neoconorbina* Hofker, 1951

Neoconorbina terquemi (Rzehak)

Plate 6 figs. 5a-e

1876 *Rosalina orbicularis* Terquem, p. 75, pl. 9, fig. 4.

1931 *Discorbis orbicularis* (Terquem) Cushman, p. 27, pl. 6, fig. 3; Bermúdez. 1949, p. 393, pl. 15, figs. 31-33.

1888 *Discorbina terquemi* Rzehak p. 228.

1953 *Discorbis terquemi* (Rzehak) Redmond, p. 724, pl. 76, figs. 2a-c; Molinares, 2007, pl. 3, figs. 24a-b.

1980 *Neoconorbina terquemi* (Rzehak) Steinker, p. 136, pl. 4, fig. 1.

Descripción: Concha calcárea planoconvexa de periferia subaguda desde la perspectiva apertural; desde la perspectiva espiral la concha tiene una forma circular; superficie lisa; más de tres giros visibles desde la perspectiva espiral los cuales se enrollan de manera compacta formando una superficie muy convexa; lado umbilical muy aplanado; cámaras numerosas levemente infladas separadas por suturas no deprimidas y curvadas desde la perspectiva espiral; menor cantidad

de cámaras visibles desde la perspectiva umbilical, separadas por suturas levemente deprimidas y ligeramente curvadas.

Observaciones: Este taxón fue hallado desde la parte media baja de la Formación Castilletes a la parte media de la Formación Jimol. Al igual que *E. parantillarum* presentó una mayor frecuencia en la Fm. Jimol, donde se encontró asociada a los taxa *A. lessonii*, *H. concentrica* y *T. trigonula*. Este taxón ha sido colectado también en el norte de Colombia en la Fm. Tubará (*Discorbis terquemii*, Redmond, 1953).

Familia EPONIDIDAE

Género *Eponides* Montfort, 1808

Eponides parantillarum Galloway y Heminway

Plate 6 figs. 7a-e

1930 *Eponides antillarum* (d'Orbigny) Cushman y Jarvis, p. 364, pl. 33, fig. 14; pl. 34, fig. 2.

1941 *Eponides parantillarum* Galloway y Heminway, p. 374, pl. 18, fig. 1; Bermúdez, 1949, p. 247, pl. 16, figs. 49-51; Redmond, 1953, pl. 76, fig. 7a-c; Bolli et al., 1994, p. 241, fig. 55, 18a-c.

Descripción: Concha biconvexa y lenticular de periferia subaguda desde una perspectiva apertural; redondeada desde la perspectiva espiral; superficie calcárea, lisa y porosa; más de tres giros visibles desde la perspectiva espiral los cuales se enrollan de manera compacta formando una superficie convexa; lado umbilical convexo con más de seis cámaras levemente infladas visibles; suturas oblicuas y curvadas desde la perspectiva espiral, mientras que desde la perspectiva umbilical son radiales a suavemente curvadas.

Observaciones: Colectado desde la parte media de la Formación Castilletes hasta la parte media de la Formación Jimol, siendo más común en esta última donde se encontraron 11 individuos en una asociación dominada por los taxa *A. lessonii*, *H. concentrica* y *T. trigonula*. Esta especie también se ha colectado en las Formaciones Tubará (Redmond, 1953), Carmen (Petters y Sarmiento, 1956), Cantaure (Díaz de Gamero, 1974), Buff Bay (Cushman y Todd, 1945) y en unidades del Mioceno de República Dominicana (Bermúdez, 1949).

Familia CANCRISIDAE

Género *Cancris* Montfort, 1808

Cancris panamensis Natland

Plate 6 fig. 6a

1938 *Cancris panamensis* Natland, p. 148, pl. 6, figs. 1a-c; Renz 1948, p. 123, pl. 12, figs. 22a-b.

Descripción: Concha trocoespíral de contorno ovalado; planoconvexa y de bordes agudos desde la perspectiva apertural; cámaras lisas y calcáreas; más de seis cámaras visibles en el último giro desde la perspectiva espiral; suturas deprimidas y curvadas; última cámara elongada e inflada de bordes redondeados.

Observaciones: Taxón encontrado en la parte media de la Fm. Jimol y en la parte media baja de la Formación Castilletes, donde se presenta una mayor frecuencia y hace parte de una asociación donde *H. concentrica* y *N. obducta* son dominantes. Esta especie ha sido así mismo colectada en las Formaciones Agua Clara (Wheeler, 1963) y Agua Salada (Renz, 1948; Díaz de Gamero, 1985) de la Cuenca de Falcón.

Género VALVULINERIA Cushman, 1926

Valvulineria georgiana Cushman

Plate 6 fig. 3a

1935 *Valvulineria georgiana* Cushman, p. 82, pl. 12, fig. 17; Cushman y Renz, 1947, p. 34, pl. 7, fig. 15; Bolli et al, 1994, p. 241, fig. 55, 12a-c, 13.

Descripción: Concha calcárea semiovalada; forma punteada en la última cámara desde la perspectiva espiral; biconvexa y de bordes redondeados desde la perspectiva apertural; superficie lisa; más de 6 cámaras ligeramente infladas que aumentan progresivamente de tamaño visibles desde la perspectiva espiral; suturas deprimidas y curvadas; apertura principal que se abre hacia el ombligo (*umbilicus*) bordeada por una proyección hacia el centro de la concha (flap) de la cámara final.

Observaciones: Solo un individuo fue colectado en la zona media de la Fm. Jimol, haciendo parte de una asociación donde *A. lessonii*, *H. concentrica* y *T. trigonula* son dominantes.

Valvulineria venezuelana Hedberg

Plate 6 figs. 8a-d

1937 *Valvulineria venezuelana* Hedberg, p. 678, pl. 91, figs. 21 a-c; Cushman y Renz 1947, p. 34, pl. 7, fig. 16; Bolli et al, 1994, p. 241, fig. 55, 10, 11a-c.

Descripción: Concha calcárea grande y ovalada; en algunos casos lobulada desde la perspectiva espiral; biconvexa y de bordes redondeados desde la perspectiva apertural; superficie lisa; más de 6 cámaras infladas de bordes redondeados que aumentan progresivamente de tamaño visibles desde la perspectiva espiral; suturas deprimidas y curvadas; apertura principal que se abre hacia el ombligo bordeada por una proyección hacia el centro de la concha (*flap*) de la cámara final.

Observaciones: Solo un individuo colectado en la Fm. Jimol. En la Fm. Castilletes este taxón fue colectado de forma escasa en la zona media baja junto con *H. concentrica* y *N. obducta*. Esta especie se ha colectado igualmente en localidades del Mioceno de Venezuela (Renz, 1948) y de Republica Dominicana (Bermudez, 1958).

Familia ANOMALINIDAE

Género *Hanzawaia* Asano, 1944

Hanzawaia concentrica (Cushman)

Plate 7 figs. 1a-d

1918 *Truncatulina concentrica* Cushman, p. 64, pl. 21, figs. 3a-c.

1949 *Cibicides concentricus* (Cushman) Bermúdez, p. 296, pl. 26, figs. 7-12; Redmond, 1953, p. 731, pl. 77, figs. 14a-c.

1964 *Hanzawaia concentrica* (Cushman) Smith, p.44, pl. 6, figs. 2a-c; Poag, 1918, p. 68, pl. 39, fig. 1; pl. 40, figs. 1a-b; Collins, 1993, p. 709, pl. 1, fig. 7; Smith et al., 2010, p.273, figs. 16, 17.

Descripción: Concha calcárea trocoespiral y planoconvexa desde la perspectiva apertural; superficie lisa; perspectiva espiral evoluta y convexa; perspectiva umbilical involuta, con presencia de botón umbilical; periferia aguda y quillada; más de siete cámaras levemente infladas que aumentan progresivamente de tamaño, visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical; ultima cámara a veces presentando una forma de punta hacia la periferia; suturas curvadas; zona

central del lado espiral con presencia de proyecciones agudas de las cámaras (*flaps*).

Observaciones: Este taxón es común desde la parte media de la Fm. Castilletes hasta la parte media de la Formación Jimol. En las zonas donde presentó mayor abundancia (>20%) se encontró asociado a frecuencias altas de fauna planctónica. La mayor cantidad de individuos se encontraron en la parte media baja de la Fm. Castilletes, en donde se también se registró la presencia de *A. parkinsoniana* en cantidades importantes. *Hanzawaia concentrica* también se ha encontrado en las Formaciones Carmen (*Cibicides concentrica*, Petters y Sarmiento, 1956), Agua Clara (*H. concentrica*, Wheeler, 1963), Cantaure (*H. concentrica*, Díaz de Gamero, 1974), Agua Salada (*C. concentricus*, Renz, 1948) y en unidades del Mioceno de República Dominicana (*C. concentricus*, Bermúdez, 1949).

Hanzawaia mantaensis (Galloway y Morrey)

Plate 7 figs. 2a-d

1929 *Anomalina mantaensis* Galloway y Morrey, p. 28, pl. 4, fig. 5.

1937 *Cibicides mantaensis* (Galloway y Morrey) Hedberg, p. 683, pl. 92, figs. 12a-c; Cushman y Renz, 1947, p. 44, pl. 8, fig. 7.

1994 *Hanzawaia mantaensis* (Galloway and Morrey) Bolli et al, 1994, p. 379, pl. 61, figs. 1-3; pl. 80, fig. 7.

Descripción: Concha calcárea trocoespiral y planoconvexa desde la perspectiva apertural; superficie lisa; perspectiva espiral evoluta y convexa; perspectiva umbilical involuta y con presencia de botón umbilical; periferia aguda y quillada; más de 10 cámaras levemente infladas que aumentan progresivamente de tamaño, visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical; suturas fuertemente curvadas, levantadas en la perspectiva espiral mientras que en el lado umbilical se encuentran deprimidas; zona central de la perspectiva espiral con presencia de proyecciones agudas de las cámaras (*flaps*).

Observaciones: Este taxón se encontró desde la zona media baja de la Fm. Castilletes hasta la zona media de la Formación Jimol. Sus mayores frecuencias se presentaron en asociaciones encontradas en la zona media baja de la Fm. Castilletes, en las cuales los foraminíferos planctónicos están presentes. Esta especie también ha sido descrita en las Formaciones Carmen (*Cibicides mantaensis*, Petters y R. Sarmiento, 1956) y Uva de Colombia (*Hanzawaia*

mantaensis, Duque-Caro, 1990), en la Fm. Agua Salada del oriente de Falcón (*C. mantaensis*, Renz, 1948) y en unidades del Mioceno de la Republica Dominicana (*C. mantaensis*, Bermúdez, 1949).

Familia ROTALIDAE

Género *Ammonia* Brünnich, 1772

Ammonia tepida (Cushman)

Plate 7 figs. 3a-c

1926 *Rotalia beccarii* (Linné) var *tepida* Cushman, p.79, pl. 1.

1951 "*Rotalia*" *beccarii* var *tepida* (Cushman) Phleger y Parker, p. 23, pl. 12, figs. 7a-c.

1981 *Ammonia parkinsoniana* forma *tepida* Poag, p. 81, pl.45, fig. 2a-b; pl. 46, fig. 2a.

1985 *Ammonia tepida* (Cushman) Kohl, p. 143, pl. 28, figs. 3a-c; Hayward et al., 2004, p. 256, pl. 3, fig. T.

Descripción: Concha calcárea trocoespiral y subcircular; levemente biconvexa desde la perspectiva apertural; superficie lisa; cámaras infladas y subglobosas, separadas por suturas deprimidas; perspectiva umbilical involuta con ausencia de botón umbilical y presencia de proyecciones agudas de las cámaras hacia esta zona (flaps); perspectiva espiral evoluta donde se observan las cámaras disminuyendo de tamaño hacia la zona central; apertura ubicada en la base de la cámara final.

Observaciones: Taxón colectado desde la zona media de la Fm. Castilletes hasta la zona media de la Formación Jimol. En las asociaciones en las que se encontraba *A. tepida* ocurre *A. parkinsoniana* con una frecuencia mayor. Se encontró en mayores cantidades en la zona baja alta de la Formación Castilletes en donde hace parte de una asociación donde *H. concentrica* también está presente en números importantes. Algunos individuos reportados como *Rotalia beccarii* y *streblus beccarii* en localidades del Mioceno del Sur del Mar Caribe (Renz, 1948; Bermúdez, 1949; Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956; Díaz de Gamero, 1974) posiblemente representan especímenes de *A. tepida*.

Ammonia parkinsoniana (d'Orbigny)

Plate 7 figs. 4a-d

1839 *Rosalina parkinsoniana* d'Orbigny, p. 99, pl. 4, figs. 25-27.

1981 *Ammonia parkinsoniana* forma *typica* (d'Orbigny) Poag, p. 134, pl. 45, fig. 1; pl. 46, figs. 1a-b.

1985 *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny) Kohl, p. 81-82, pl. 28, figs. 4a-c; Cassel y Sen Gupta, 1989, p. 156, pl. 8, figs. 8, 9; Hayward et al., 2004, p. 256, pl. 3, fig. T9.

Descripción: Concha calcárea trocoespiral; levemente biconvexa desde la perspectiva apertural; circular desde las perspectivas espiral y umbilical; superficie lisa; cámaras infladas y subglobosas desde la perspectiva umbilical; suturas deprimidas; concha involuta desde la perspectiva umbilical con la presencia de uno o varios botones claramente definidos; perspectiva espiral evoluta donde se observan las cámaras enrollándose claramente disminuyendo de tamaño hacia la zona central; apertura en la base de la cámara final.

Observaciones: Taxón común en las Formaciones Jimol y Castilletes, en las cuales se encontraron 8 asociaciones en las cuales *A. parkinsoniana* es dominante. Cinco de estas se caracterizan por presentar una diversidad baja dominada casi en su totalidad por *A. parkinsoniana*. Algunos individuos reportados como *Rotalia beccarii* y *streblus beccarii* en localidades del Mioceno del Sur del Mar Caribe (Renz, 1948; Bermúdez, 1949; Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956; Díaz de Gamero, 1974) posiblemente representan especímenes de *A. parkinsoniana*.

Familia AMPHISTEGINIDAE

Género *Amphistegina* d'Orbigny, 1826

Amphistegina lessonii d'Orbigny

Plate 7 figs. 5a-c

1826 *Amphistegina lessonii* d'Orbigny, p. 304, pl. 17, figs. 1-4; Cushman y Todd, 1945, p. 60, pl. 10, fig. 2; Bermúdez, 1949, p. 263, pl. 19, figs. 1-3; Redmond, 1953, p. 727, pl. 77, figs. 1a-c; Bolli et al., 1994, p. 300, fig. 80, 23.

Descripción: Concha calcárea de gran tamaño, biconvexa y lenticular desde la perspectiva apertural; bordes comprimidos y agudos; forma circular desde la perspectiva dorsal; superficie lisa; presencia de un umbo grande en la zona

umbilical que se proyecta levemente de la periferia de la concha; cámaras numerosas separadas por suturas no deprimidas y con fuertes curvaturas en forma de “U”.

Observaciones: Taxón colectado desde la zona media de la Fm. Castilletes hasta la parte media de la Fm. Jimol, donde es dominante en una asociación en que *H. concentrica* y *T. trigonula* también presentan cantidades significativas. *A. lessonii* ha sido ampliamente colectada a través de formaciones del Mioceno del Mar Caribe (Cushman y Todd, 1945; Renz, 1948; Bermúdez, 1949; Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956).

3.2. Paleontología sistemática de foraminíferos planctónicos

Reino CHROMISTA

Infrareino RHIZARIA

Phylum FORAMINIFERA

Clase GLOBOTHALAMEA

Familia GLOBIGERINIDAE

Género *Globigerina* d'Orbigny, 1826

Globigerina praebulloides Blow

Plate 8 figs. 1a-i

1959 *Globigerina praebulloides* Blow, pl. 8, fig. 47; pl. 9, fig. 48; Kennett y Srinivasan, 1983, p. 37, pl. 6, figs. 1-3.

Descripción: Concha trocoespiral; presencia de 4 cámaras en el último giro visto desde la perspectiva umbilical; Suturas entre cámaras deprimidas y ligeramente curvadas; ombligo pequeño; La apertura umbilical es baja y presenta un arco moderadamente asimétrico

Observaciones: *G. praebulloides* fue colectado desde la zona media baja de la Fm. Castilletes hasta la zona media de la Fm. Jimol, siendo el foraminífero planctónico más común. La mayor frecuencia de este taxón se encontró en la zona media de la Fm. Jimol en donde se encontraron cantidades importantes de foraminíferos bentónicos del género *Nonionella* y *Q. lamarckiana*.

Este taxón también ha sido colectado en las formaciones Brasso de Trinidad (Wilson, 2005), Cantaure y Agua Salada de Venezuela (Díaz de Gamero, 1974; Díaz de Gamero, 1985). Algunos individuos de la especie *Globigerina bulloides* d'Orbigny colectados en sedimentos del Mioceno temprano de Colombia (*Globigerina cf. bulloides*, Petters y Sarmiento, 1956), de Trinidad (*G. cf. bulloides*, Cushman y Stainforth, 1945) y de Republica Dominicana (*G. bulloides*, Bermúdez, 1949) probablemente representan individuos de *G. praebulloides* también.

Globigerina falconensis Blow

Plate 8 figs. 2a-d

1959 *Globigerina falconensis* Blow, pl. 9, f. 40; Kennett y Srinivasan, 1983, p. 41, pl. 7, figs. 1-3.

Descripción: Concha levemente trocoespiral y ligeramente comprimida con presencia de poros pequeños regularmente distribuidos en la superficie; 4 cámaras esféricas visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical; La última cámara generalmente más pequeña que la penúltima; Suturas entre las cámaras deprimidas y radiales; ombligo pequeño y profundo, parcialmente cubierto por un labio ubicado en la última cámara; apertura elongada y estrecha que se abre hacia el ombligo.

Observaciones: Solo se halló un individuo en la zona media baja de la Fm. Castilletes en la que *G. primordius* es el foraminífero planctónico más común. En esta asociación también se ocurren especies bentónicas como *H. concentrica* y *A. parkinsoniana*. Este taxón también ha sido encontrado en sedimentos del Mioceno de la Fm. Agua Salada de Venezuela (Díaz de Gamero, 1985) y en Fm. Brasso de Trinidad (Wilson, 2005).

Género *Globoturborotalita* Hofker, 1956

Globoturborotalita ciperoensis (Bolli)

Plate 8 figs. 3a-e

1954 *Globigerina ciperoensis* Bolli, p. 1, figs. 1a-b; Bermúdez, 1961, p. 1164, pl. II, figs. 1a-c, 2a-c; Postuma, 1971, p. 264, 265.

1957 *Globigerina ciperoensis* (Bolli) subsp. *ciperoensis* Bolli, p. 109, pl. 22: figs. 10a-b; Bolli y Saunders, 1985, p. 182, fig. 13, 2-3.

1962 *Globigerina ouachitaensis* (Howe y Wallace) subsp. *ciperoensis* (Bolli) Blow y Banner, p. 90, pl. IX: figs. e-g; Blow, 1969, p. 122, pl. 17: figs. 7, 10, 11.

1983 *Globigerina (Globigerina) ciperoensis* (Bolli) Kennett y Srinivasan, p. 28, pl. 4: figs. 6-8.

2007 *Globoturborotalita ciperoensis* (Bolli) Rincón et al., 2007, p. 285, pl. 1, figs. 4a-c, 5.

Descripción: Concha pequeña; de baja a medianamente trocoespiral; presencia de 5 cámaras esféricas, observables en el último giro desde la perspectiva umbilical que aumentan progresivamente de tamaño; suturas entre cámaras deprimidas y

radiales desde las perspectivas umbilical y espiral; apertura circular dirigida hacia un ombligo amplio (Kennett y Srinivasan, 1983).

Observaciones: *G. ciperoensis* es escaso en la zona media baja de la Fm. Castilletes. En la zona media de la Fm. Jimol se presentó en una frecuencia ligeramente mayor, haciendo parte de una asociación en la cual *G. praebulloides* presenta una frecuencia alta y se presentan taxa bentónicos como *Q. lamarckiana* y varias especies del género *Nonionella*.

En sedimentos del Mioceno analizados en localidades del sur del Mar Caribe, la especie *Globigerina concinna* encontrada en las Formaciones Carmen (Petters y Sarmiento, 1956), Agua Clara de Venezuela (Wheeler, 1963), Cipero de Trinidad (Cushman y Stainforth, 1945) y Buff Bay de Jamaica (Cushman y Todd, 1945) representa a *Globoturborotalita ciperoensis*. En la Fm. Agua Salada del oriente de Falcón ha sido descrita como *Globigerina ciperoensis* (Díaz de Gamero, 1985).

Globoturborotalita ouachitaensis (Howe and Wallace)

Plate 8 figs. 4a-e

1932 *Globigerina ouachitaensis* Howe y Wallace, p. 74, pl. 10, fig. 7; Postuma, 1971, p. 152, 153.

1957 *Globigerina parva* Bolli, p. 164, pl. 36, figs. 7a-c.

1962 *Globigerina ouachitaensis ouachitaensis* (Howe y Wallace) Blow y Banner, p. 90, pl. IX: figs. h-k; Bolli y Saunders, 1985, p.178, fig. 13, 15a-b.

2006 *Globoturborotalita ouachitaensis* (Howe y Wallace 1932) Pearson et al., 2006, p. 127, pl. 6.5, figs. 1-14; Rincón et al, 2007, p. 284, pl. 1, figs. 6a-c.

Descripción: Concha compacta y trocoespiral; periferia ecuatorial lobular con 4 cámaras esféricas a sub-esféricas en el último giro, visibles desde la perspectiva umbilical, que aumentan progresivamente en tamaño; suturas deprimidas y semi-radiales; ombligo amplio y profundo; apertura grande y circular rodeada por un borde.

Observaciones: Los individuos asignados a este grupo coinciden con la forma reportada como *Globigerina ouachitaensis* de Bolli y Saunders (1985). Se encontró en bajas cantidades en la Fm. Castilletes, mientras que en la parte media de la Fm. Jimol es común en una asociación en la que *G. praebulloides* es dominante junto a *Q. lamarckiana* y diferentes especies del género *Nonionella*.

Género *Globigerinoides* Cushman, 1927

Globigerinoides primordius Blow y Banner

Plate 8 figs. 5a-e

1846 *Globigerina quadrilobata* d'Orbigny., p. 164 pl. 9, figs.7-10.

1962 *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orbigny) subsp. *primordius* Blow y Banner p. 115, pl. IX: figs. Dd-Ff; Blow, 1969, p. 127, pl. 20, figs. 1, 5-6; Postuma, 1971, p. 298, 299.

2007 *Globigerinoides primordius* (Blow y Banner) Rincón et al., 2007, p. 291, pl. 4, figs. 6a-c.

Descripción: Concha levemente trocoespiral; 3 1/2 o 4 cámaras esféricas en el último giro desde la perspectiva umbilical, las cuales aumentan moderadamente de tamaño; suturas entre las cámaras ligeramente curvadas y deprimidas; superficie con presencia de poros amplios; apertura primaria ancha y arqueada con un borde distintivo que se abre hacia un ombligo estrecho; las últimas cámaras muestran una apertura suplementaria opuesta a la apertura principal.

Observaciones: Esta especie se encontró haciendo parte de asociaciones con presencia de foraminíferos planctónicos desde la parte media de la Fm. Castilletes hasta la parte media de la Fm. Jimol, siendo comúnmente colectado en la parte media baja de la primera, donde fue el foraminífero planctónico dominante en una asociación donde también se encontraron los bentónicos *H. concentrica* y *A. parkinsoniana* en cantidades importantes.

Globigerinoides altiapertura Bolli

Plate 9 figs. 1a-f

1957 *Globigerinoides triloba altiapertura* Bolli, p. 113, pl. 25: figs. 7a-c y 8; Blow 1959, p. 187, pl. 10: figs. 61a, b.

1971 *Globigerinoides altiapertura* (Bolli) Postuma, p. 284, 285; Gibson, 1983, p. 370, pl. 1, figs. 1, 2; pl. 4, figs. 7, 8.

1983 *Globigerinoides altiapertura* (Bolli) Kennett y Srinivasan, p. 54, pl. 11, figs. 4-6.

Descripción: Concha levemente trocoespiral con cámaras esféricas que aumentan rápidamente de tamaño; desde el punto de vista umbilical se pueden observar 3 cámaras mientras que desde el punto de vista espiral se pueden observar 3 1/2;

presenta suturas deprimidas y ligeramente curvadas; superficie con presencia de bases pequeñas de espinas en las estribaciones que separan los poros. La apertura principal se abre al ombligo y está caracterizada por ser alta y arqueada. Se presenta una apertura suplementaria opuesta a la principal ubicada en las cámaras más pequeñas (Kennett y Srinivasan, 1983).

Observaciones: Solo un individuo fue colectado en la zona media de la Formación Jimol, en un asociación donde *G. praebulloides*, *Q. lamarckiana* y varias especies del género *Nonionella* son dominantes.

Globigerinoides subquadratus Brönnimann

Plate 9 figs. 2a-f

1954 *Globigerinoides subquadrata* Brönnimann, p. 680, pl. 1: figs. 8a-c.

1969 *Globigerinoides subquadratus* (Brönnimann) Blow, p. 129, pl. 21: fig. 5; Postuma, 1971, p. 306, 307; Kennett y Srinivasan, 1983, p. 74, pl. 16, figs. 1-3.

Descripción: Concha subcuadrada y trocoespiral; 3 cámaras esféricas o subesféricas visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical, que aumentan moderadamente en tamaño; Las suturas entre las cámaras son ligeramente curvadas desde la perspectiva espiral, mientras que en el lado umbilical son deprimidas y radiales; la superficie de la concha es distintivamente perforada con bases de espinas visibles en las estribaciones entre los poros; la apertura principal es alta y arqueada con la presencia de un borde, abriéndose frente a la sutura de dos cámaras más pequeñas; se puede presentar más de una apertura suplementaria.

Observaciones: Este Taxón es escaso en asociaciones con presencia de foraminíferos planctónicos desde la parte media de la Fm. Jimol hasta la parte media baja de la Fm. Castilletes donde fue colectado en mayor cantidad junto a especies como *G. primordius*.

Con base en la similitud morfológica de esta especie con *Globigerinoides ruber* d'Orbigny se podría esperar que algunas referencias de este taxón del Mioceno temprano del norte de Colombia, Venezuela, Trinidad y Jamaica (Cushman y Todd, 1945; Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956; Díaz de Gamero, 1985; Wilson, 2005) representen en realidad la especie *G. subquadratus*, teniendo en cuenta que este también ha sido descrito en la Fm. Cantaure de la Península de Paraguaná (Hunter y Bartok, 1974; Díaz de Gamero, 1974).

Globigerinoides bulloideus Crescenti

Plate 9 figs. 3a-f

1966 *Globigerinoides bulloideus* Crescenti, p. 43, fig. 9; Kennett y Srinivasan, 1983, p. 60, pl. 12: figs. 7-9; Cicha et al., 1998, p.224, pl. 36, figs. 14-15. Rincón et al., p. 291, pl. 4, figs. 5a-c.

Descripción: Concha trocoespíral más amplia que alta; 4 cámaras esféricas en el último giro desde la perspectiva umbilical que van aumentando de tamaño; Las suturas entre las cámaras son levemente curvadas y deprimidas; superficie con presencia de bases de espinas; apertura principal amplia y semicircular que se abre a un ombligo amplio y profundo; Las cámaras más pequeñas presentan una apertura suplementaria opuesta a la apertura principal.

Observaciones: *G. bulloideus* fue colectado en la parte media baja de la Fm. Castilletes en un asociación con una presencia notoria de *G. praebulloides* y los bentónicos *H. concentrica* y *N. obducta*.

Globigerinoides triloba Reuss

Plate 9 figs. 9a-e

1850 *Globigerina triloba* Reuss, p. 374, pl. 447, fig. 11a-c.

1957 *Globigerinoides triloba triloba* (Reuss) Bolli 1957, p. 112, pl. 25, figs. 2a-c; Blow 1959, p. 187, pl. 11, figs. 60a, b.

1971 *Globigerinoides trilobus* (Reuss) Postuma, p. 309.

1983 *Globigerinoides trilobus trilobus* (Reuss) Gibson 1983, p. 371, pl. 4: fig. 12.

1983 *Globigerinoides triloba* (Reuss) Kennett y Srinivasan, p. 62, pl. 13, figs. 1-3.

Descripción: Concha trocoespíral; presencia de 3 cámaras esféricas que aumentan de tamaño progresivamente visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical; Suturas entre cámaras ligeramente curvadas y deprimidas; Superficie con poros amplios y separados por estribaciones; Apertura principal y suplementarias pequeñas, en forma de hendidura y complejas de distinguir.

Observaciones: Solo dos individuos colectados en la Fm. Jimol, mientras que en la Fm. Castilletes la frecuencia de este taxón es levemente superior, encontrándose en asociaciones donde *G. praebulloides* y *G. primordius* son dominantes entre los foraminíferos planctónicos.

También se ha registrado la presencia de esta especie en la Fm. Carmen al norte de Colombia (*Globigerinoides triloba*, Petters y Sarmiento, 1956), en la Fm. Agua Clara al occidente de la Cuenca de Falcón (*G. triloba*, Wheeler, 1963), en la Fm. Cantaure de la Península de Paraguaná (*G. trilobus*, Díaz de Gamero, 1974), en la Fm. Agua Salada (*G. trilobus*, Díaz de Gamero, 1985) y en la Fm. Brasso del Mioceno temprano de Trinidad (*G. trilobus*, Wilson, 2005).

Género *Sphaeroidinellopsis* Banner y Blow, 1959

Sphaeroidinellopsis cf. *disjuncta* (Finlay)

Plate 9 figs. 5a-d

1940 *Sphaeroidinella disjuncta* Finlay, p. 467, pl. 67, figs. 224-228.

1983 *Sphaeroidinellopsis disjuncta* (Finlay) Kennett y Srinivasan, p. 207, pl. 51, figs. 3-5.

Descripción: Concha levemente trocoespiral con periferia ecuatorial trilobulada o cuadrilobulada; 4 cámaras de formas esféricas a ovoides en el último giro; suturas radiales y deprimidas visibles, tanto en el lado espiral como en el umbilical; superficie gruesa y cancelada con las áreas entre los poros engrosadas sin llegar a ser lustrosas.

Observaciones: Solo un individuo mal preservado fue colectado en la parte baja alta de la Fm. Castilletes, haciendo parte de una asociación en el cual *G. praebulloides* fue el foraminífero planctónico más común. Esta especie ha sido colectada también en sedimentos del Mioceno que afloran al oriente de la Cuenca de Falcón en la Formación Agua Salada (*Sphaeroidinellopsis disjuncta*, Díaz de Gamero, 1985).

Familia GLOBOROTALIIDAE

Género *Paragloborotalia* Cifelli, 1982

Paragloborotalia mayeri (Cushman y Ellisor)

Plate 9 figs. 6a-f

1939 *Globorotalia mayeri* Cushman y Ellisor, p. 11, pl. 2: figs. 4a-c; Bolli, 1957, p. 118, pl. 28, figs. 4a-c; Postuma, 1971, p. 332, 333; Bolli y Saunders, 1985, p. 203, fig. 26: 32 - 36.

1961 *Turborotalia mayeri* (Cushman y Ellisor) Bermúdez, p. 1325, pl. XVIII, fig. 7a-c.

1939 *Globorotalia (Jenkinsella) mayeri* (Cushman y Ellisor) Kennett y Srinivasan, 1983, p. 174, pl. 43: figs. 4-6.

1939 *Globorotalia (Turborotalia) mayeri* (Cushman y Ellisor 1939) Blow, 1969, p. 153, pl. 3, figs. 7-9.

2000 *Paragloborotalia mayeri* (Cushman and Ellisor) Chaisson y d'Hondt, 2000, p. 55, pl. 1, fig. 14, 15; Rincón et al., 2007, p. 303, pl. 10, figs. 4a-c.

Descripción: Concha levemente trocoespiral y lobulada; 5 cámaras infladas visibles en el último giro desde la perspectiva umbilical que aumentan progresivamente de tamaño; suturas curvadas desde las perspectivas umbilical y espiral; superficie perforada con presencia de poros grandes; apertura en forma de arco alto bordeada por un borde, la cual se abre hacia un ombligo estrecho.

Observaciones: Un individuo fue colectado en la zona media de la Formación Jimol, haciendo parte de un asociación con presencia importante de los taxa planctónicos *G. praebulloides*, *G. primordius* y *G. ouachitensis* y dominado por bentónicos de varias especies del género *Nonionella* y *Q. lamarckiana*.

Esta especie ha sido descrita ampliamente en otras localidades del Mioceno del Mar Caribe entre las que se incluyen: la Fm. Carmen del norte de Colombia (*Globorotalia* cf. *mayeri*, Petters, y Sarmiento, 1956), las Formaciones Agua Clara (*Turborotalita mayeri*, Wheeler, 1963) y Agua Salada de la Cuenca de Falcón (*Globorotalia mayeri*, Díaz de Gamero, 1985), la Formación Brasso de Trinidad (*G. mayeri*, Wilson, 2005), y unidades de República Dominicana (*G. mayeri*, Bermúdez, 1949).

Familia CANDEINIDAE

Género *Globigerinita* Brönnimann, 1951

Globigerinita cf. *uvula* (Ehrenberg)

Plate 9 figs. 7a-c

1861 *Pylodexia uvula* Ehrenberg, p. 206, 207, 308; 1872, pl. 2, figs. 24, 25.

1931 *Globigerina bradyi* Wiesner, p. 133.

1983 *Globigerinita uvula* (Ehrenberg) Kennett y Srinivasan, p. 224, pl. 56, figs. 6-8.

Descripción: Concha pequeña y altamente trocoespiral; de 3 a 4 cámaras globulares en el último giro; superficie lisa ampliamente cubierta por tubérculos subcónicos; apertura de arco pequeño bordeada por un labio fino.

Observaciones: De este taxón solo se encontró un individuo en la zona baja de la Fm. Castilletes junto con *G. prebulloides* en una asociación dominada por *A. parkinsoniana* y *H. concentrica*.

3.3. Asociaciones encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes

De las 29 muestras colectadas a través de las Formaciones Jimol y Castilletes hubo 14 con recobro de más de 100 especímenes. En 12 de estas se tomaron alrededor de 300 individuos por muestra; solo en 2 casos (DDS003 y DDS029) se presentaron 101 individuos por muestra. Un total de 51 especies fueron identificadas: 39 bentónicas (Tabla 2, A) con frecuencias altas de *Ammonia parkinsoniana* (1751 individuos), *Hanzawaia concentrica* (477), *Triloculina trigonula* (199), *Quinqueloculina laevigata* (180), *Nonionella obducta* (153), *Ammonia tepida* (152) y *Amphistegina lessonii* (130) (Tabla 2, A; Anexo 2); y 12 planctónicas con dominancia de *Globigerina praebuloides* (108) y de *Globigerinoides primordius* (47) (Tabla 2, B).

Tabla 2. A. Especies de foraminíferos bentónicos identificados. **B.** Especies de foraminíferos planctónicos identificados. Los asteriscos indican especies descritas en estudios previos realizados en la Cuenca de Cocinas (e.g. Becker y Dusenbury, 1958; Bürgl, 1960; Renz, 1960; Zapata, 2010). Los corchetes indican el nombre original de la especie en caso de que este haya cambiado.

A.

* <i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	<i>Elphidium</i> cf. <i>excavatum</i> (Terquem)	* <i>Nonionella obducta</i> (Cushman y Stevenson)
[= <i>Rosalina parkinsoniana</i>]	[= <i>Polystomella excavata</i>]	[= <i>Nonion obductus</i>]
* <i>Ammonia tepida</i> (Cushman)	<i>Elphidium</i> <i>Sagrum</i> (d'Orbigny)	<i>Nonionella</i> cf. <i>jacksonensis</i> Cushman
[= <i>Ammonia parkinsoniana</i>]	[= <i>Polystomella sagra</i>]	<i>Nonionella</i> cf. <i>danvillensis</i> How y Wallace
* <i>Amphistegina lessonii</i> d'Orbigny	<i>Eponides parantillarum</i> Galloway y Heminway	<i>Quinqueloculina costata</i> d'Orbigny
<i>Bolivina</i> cf. <i>cochei</i> Cushman y Adams	[= <i>Eponides antillarum</i>]	<i>Quinqueloculina laevigata</i> d'Orbigny
* <i>Bolivina pisciformis</i> Galloway y Morrey	<i>Neoconorbina terquemi</i> (Rzehak)	<i>Quinqueloculina lamarckiana</i> d'Orbigny
<i>Bolivina pozonensis</i> Cushman y Renz	[= <i>Rosalina orbicularis</i>]	<i>Quinqueloculina</i> cf. <i>seminulum</i> (Linné)
<i>Buccella hannai</i> (Phleger y Parker)	* <i>Hanzawaia concentrica</i> (Cushman)	[= <i>Serpula seminulum</i>]
[= <i>Eponides hannai</i>]	[= <i>Cibicides concentricus</i>]	<i>Rosalina</i> sp. 1
<i>Bulimina illingi</i> Cushman y Stainforth	* <i>Hanzawaia mantaensis</i> (Galloway y Morrey)	<i>Textularia falconensis</i> Cushman y Renz
<i>Buliminella curta</i> Cushman	[= <i>Cibicides mantaensis</i>]	* <i>Textularia panamensis</i> Cushman
<i>Cancris panamensis</i> Natland	* <i>Lenticulina americana</i> (Cushman)	<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck)
<i>Criboelphidium poeyanum</i> (d'Orbigny)	[= <i>Robulus americanus</i>]	[= <i>Miliolina trigonula</i>]
[= <i>Polystomella poeyana</i>]	* <i>Lenticulina iota</i> (Cushman)	* <i>Uvigerina capayana</i> Hedberg
<i>Eggerella</i> sp. 1	[= <i>Robulus iotus</i>]	[= <i>Uvigerina pigmea</i>]
<i>Elphidium</i> cf. <i>chipolensis</i> (Cushman)	<i>Lenticulina</i> sp. 1	<i>Uvigerina rustica</i> Cushman y Edwards
[= <i>Polystomella chipolensis</i>]	* <i>Massilina quadrans</i> Cushman y Ponton	<i>Valvulineria georgiana</i> Cushman
<i>Elphidium</i> cf. <i>advenum</i> (Cushman)	<i>Nonionella</i> cf. <i>pulchella</i> Hada	* <i>Valvulineria venezuelana</i> Hedberg
[= <i>Polystomella subnodosa</i>]	<i>Nonionella miocenica</i> Cushman	

B.

<i>Globigerina praebulloides</i> Blow	<i>Globigerinoides subquadratus</i> Brönnimann
<i>Globigerina falconensis</i> Blow	[= <i>Globigerinoides subquadrata</i>]
<i>Globoturborotalita ciperoensis</i> (Bolli)	<i>Globigerinoides bulloideus</i> Crescenti
[= <i>Globigerina ciperoensis</i>]	<i>Globigerinoides triloba</i> Reuss
<i>Globoturborotalita ouachitaensis</i> (Howe and Wallace)	<i>Sphaeroidinellopsis</i> cf. <i>disjuncta</i> (Finlay)
[= <i>Globigerina ouachitaensis</i>]	[= <i>Sphaeroidinella disjuncta</i>]
<i>Globigerinoides primordius</i> Blow y Banner	<i>Paragloborotalia mayeri</i> (Cushman y Ellisor)
[= <i>Globigerina quadrilobata</i>]	[= <i>Globorotalia mayeri</i>]
<i>Globigerinoides altiapertura</i> Bolli	<i>Globigerinita</i> cf. <i>uvula</i> (Ehrenberg)
[= <i>Globigerinoides triloba altiapertura</i>]	[= <i>Pylodexia uvula</i>]

Respecto a la fauna bentónica, la Formación Jimol presenta mayor frecuencia de géneros como *Lenticulina*, *Amphistegina* y *Nonionella*, mientras que en la Fm. Castilletes tiene una frecuencia más amplia de *Hanzawaia* y *Quinqueloculina*. Especies colectadas en el presente estudio, tales como *H. concentrica* y *T. trigonula*, junto con el género *Ammonia*, se encontraron comúnmente en ambas formaciones (Tabla 3, A). Paralelamente, en relación a la fauna planctónica en la Fm. Jimol, existe una mayor presencia de *Globoturborotalita ouachitaensis*, mientras que en la Fm. Castilletes *Globigerinoides primordius* presenta mayor dominancia. *G. praebulloides* fue encontrado usualmente en las muestras con recobro de foraminíferos planctónicos en ambas formaciones (Tabla 3, B).

Las dos unidades geológicas tienen una riqueza de especies bentónicas similar. En un muestreo hipotético de 1000 individuos (análisis de rarefacción) (Tipper, 1979; Adrain et al., 2000) se esperarían entre 34 y 31 especies para Jimol y Castilletes respectivamente (Fig. 3, A). En Jimol se encontraron 4 muestras con recobro de foraminíferos, donde DDS007 y DDS008 presentaron mayor riqueza específica al esperarse entre 15 y 17 especies a partir de 200 individuos colectados, mientras que DDS009 y DDS010 tendrían riquezas cercanas a 2 (Fig. 3, C). Por otro lado, para la Fm. Castilletes se hallaron 10 muestras con recobro de microfauna. Teniendo en cuenta muestreos hipotéticos de 100 individuos, las muestras con mayor riqueza específica son: 34960 con 14 especies, seguida por DDS026, DDS028 Y DDS030 con alrededor de 10 y DDS030 con 7. Las muestras DDS003, 34958, DDS029, DDS023 y 34951 presentaron diversidades inferiores (Fig. 3, B).

Tabla 3. Comparación entre las faunas de foraminíferos encontrados en las Formaciones Jimol y Castilletes. A. Foraminíferos bentónicos y B. Foraminíferos planctónicos. Los espacios vacíos equivalen a ausencia del taxón.

A.

Taxón	Castilletes	Jimol
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	C	C
<i>Ammonia tepida</i>	C	C
<i>Nonionella miocenica</i>	E	E
<i>Nonionella cf. danvillensis</i>	E	C
<i>Nonionella cf. pulchella</i>		E
<i>Nonionella cf. jacksonensis</i>		E
<i>Nonionella obducta</i>	C	C
<i>Cancris panamensis</i>	E	E
<i>Hanzawaia mantaensis</i>	C	E
<i>Hanzawaia concentrica</i>	C	C
<i>Neoconorbina terquemi</i>	E	E
<i>Eponides parantillanum</i>	E	E
<i>Buccella hannai</i>		E
<i>Bolivina cf. cochei</i>	E	
<i>Bolivina pisciformis</i>		E
<i>Bolivina pozonensis</i>	E	
<i>Lenticulina americana</i>	E	C
<i>Lenticulina iota</i>		E
<i>Lenticulina sp. 1</i>		E
<i>Amphistegina lessonii</i>	E	C
<i>Elphidium poeyanum</i>	E	E
<i>Elphidium Sagrum</i>	E	E
<i>Elphidium cf. excavatum</i>	E	
<i>Elphidium cf. advenum</i>		E
<i>Elphidium cf. chipolensis</i>	E	E
<i>Valvulineria georgiana</i>		E
<i>Valvulineria venezuelana</i>	E	E

C: común, E: escaso

<i>Bulimina illingi</i>		E
<i>Buliminella curta</i>	E	
<i>Uvigerina rustica</i>		E
<i>Uvigerina capayana</i>	E	
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	C	C
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	C	
<i>Triloculina trigonula</i>	C	C
<i>Quinqueloculina costata</i>	E	
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	E	
<i>Massilina quadrans</i>	E	E
<i>Textularia falconensis</i>	E	
<i>Textularia panamensis</i>	E	E
<i>Eggerella sp.</i>		E

B.

Taxón	Castilletes	Jimol
<i>Globigerina praebulloides</i>	C	C
<i>Globigerina falconensis</i>	E	
<i>Globoturborotalita ciperoensis</i>	E	E
<i>Globoturborotalita ouachitaensis</i>	E	C
<i>Globigerinoides primordius</i>	C	E
<i>Globigerinoides altiapertura</i>		E
<i>Globigerinoides subquadratus</i>	E	E
<i>Globigerinoides bulloideus</i>	E	
<i>Globigerinoides triloba</i>	E	E
<i>Globigerinita cf. uvula</i>	E	
<i>Sphaeroidinopsis cf. disjuncta</i>	E	
<i>Paragloborotalia mayeri</i>		E

C: común, E: escaso

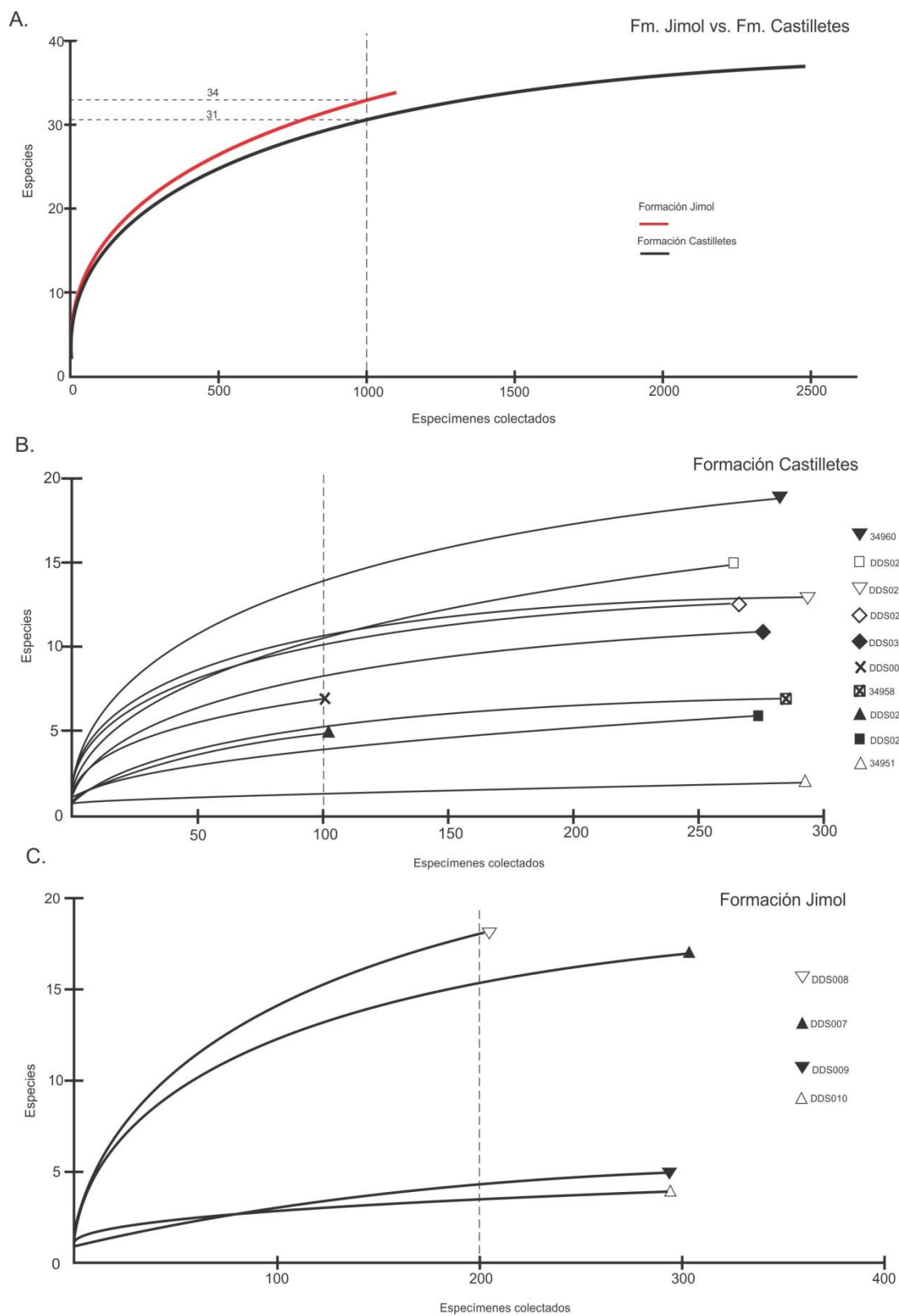


Figura 3. Análisis de rarefacción de las muestras encontradas con recobro de foraminíferos. **A.** Formación Jimol vs Castilletes. **B.** Muestras con recobro en la Fm. Castilletes. **C.** Muestras con recobro en la Fm. Jimol.

El análisis de agrupamiento aplicado a las muestras con recobro de microfauna permitió la identificación de siete asociaciones de foraminíferos con base en la presencia y cantidad de los taxa colectados en cada capa (Fig. 4). Estas asociaciones fueron resumidas en cinco grupos con características similares para realizar inferencias paleoambientales.

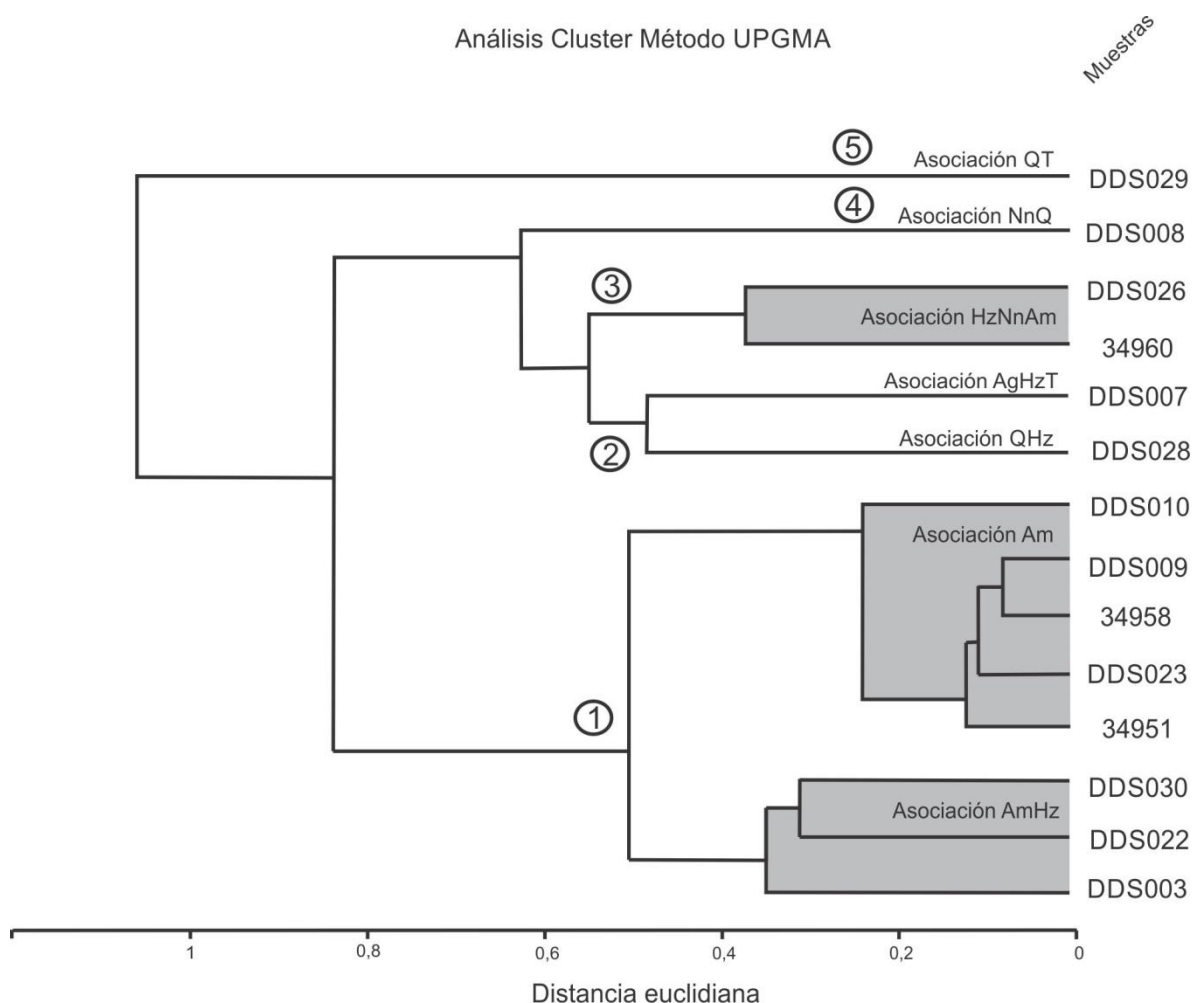


Figura 4. Dendrograma del análisis de agrupamiento (*un-constrained cluster*, método UPGMA) realizado a las 14 muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes con presencia de más de 100 individuos. Se muestran las siete asociaciones inferidas a partir del análisis. Los números encerrados en círculos representan grupos de asociaciones con características asociables a paleoambientes particulares.

La asociación **AmHz** (muestras DDS003, 022 Y 030) se caracteriza por la presencia importante del género *Ammonia* (51-68%) y de la especie *H. concentrica* (11-32 %). También tiene un número bajo de géneros y especies

bentónicas (5-6 y 5-9 respectivamente). La diversidad Alpha varía entre 1,709 y 2,288 sin incluir taxa planctónicos y entre 1,709 y 4,1960 incluyéndolos. La dominancia (0,27-0,37) y el *FoRAM Index* (1,26-1,47) presentan valores bajos. El *Foraminiferal number* varía entre 18 y 38 foraminíferos/g y se presenta un porcentaje de fauna infaunal alto (52-80%). La fauna planctónica asociada es <8,9% de la asociación (<5 especies).

La asociación **Am** (muestras DDS009, 010, 023, 34951 y 34958) presenta una dominancia del género *Ammonia* caracterizada por abundancias relativas superiores al 79% y dominancias por encima de 0,66. El número de géneros y especies bentónicas es incluso más bajo (2-5 y 2-7 respectivamente), al igual que la diversidad Alpha (0,652-1,085). Los valores de *Foraminiferal number* presentan valores muy variables (entre 4 y 302 foraminíferos/g) a la vez que el *FoRAM Index* presenta valores cercanos a 1. Esta asociación es a su vez caracterizada por porcentajes altos de formas infaunales (>96%) y la casi ausencia de fauna planctónica (<2 especies).

Las asociaciones **AmHz** y **Am** tienen diferencias importantes en su estructura, aun así a nivel general son caracterizadas por la presencia dominante del género *Ammonia* y por porcentajes bajos de fauna planctónica por lo cual son incluidas dentro del grupo 1 (Fig. 4).

La asociación **QH_z** (muestra DDS028) se caracteriza por la dominancia de *Quinqueloculina laevigata* (25,6%) y *H. concentrica* (13,6%). La mayoría de miliolidos descritos en el presente trabajo están presentes. El género *Ammonia* se encuentra en una proporción baja (<3,7%). Existe fauna planctónica asociada pero escasa (<0,9%). Se presentan 8 géneros y 13 especies, una dominancia inferior a 0,23 y una diversidad Alpha entre 2,77 y 3,32, excluyendo e incluyendo la fauna planctónica respectivamente. El *Foraminiferal number* es de 74 foraminíferos/g unido a un porcentaje del 95% de formas epifaunales y un *FoRAM Index* de 2,21.

En la asociación **AgHzT** (muestra DDS007) *Amphistegina lessonii* (35%), *H. concentrica* (21,9%) y *Triloculina trigonula* (19,1%) son dominantes. Se da una presencia importante de miliolidos (20,3%). Los foraminíferos planctónicos son escasos (2,7%, <4 especies). Hay 13 géneros y 16 especies de foraminíferos bentónicos, una dominancia de 0,22 y valores de diversidad Alpha de 3,88 y 5,07 excluyendo e incluyendo la fauna planctónica respectivamente. La fauna es casi en su totalidad epifaunal (94,75%), el *Foraminiferal number* es de 106 foraminíferos/g y el *FoRAM Index* es el más alto entre todas las muestras (4,815).

Las asociaciones **QH_z** y **AgHzT** fueron incluidas dentro del grupo 2 (Fig. 4) ya que la fauna que las compone es predominantemente epifaunal y ambas tienen

presencia importante del género *Amphistegina*, lo que les confiere valores de *FoRAM Index* que se pueden considerar altos.

La asociación **HZNnAm** (muestras DDS026 y 34960, grupo 3 en la Fig. 4) presenta dominancia de *H. concentrica* (25-45%) con proporciones menores de *Nonionella obducta* (muestra 34960) y *A. parkinsoniana* (muestra DDS026). Esta asociación presenta entre 10 y 13 géneros y entre 15 y 16 especies bentónicas, 5 y 7 especies planctónicas (2 géneros) y una dominancia baja (0,18-0,33). La diversidad Alpha sin planctónicos esta entre 3,42 y 4,55 y entre 5,07 y 7,24 sin excluirlos. La fauna que la compone es predominantemente epifaunal (>60,35%), el *Foraminiferal number* varía entre 26 y 40 foraminíferos/g y el *FoRAM Index* es 1,9. El 13% de la fauna es planctónica.

La asociación **NnQ** (muestra DDS008, grupo 4 en la Fig. 4) tiene una proporción alta del género *Nonionella* (39,7%). *Nonionella* cf. *danvillensis* (18,9%), *Nonionella obducta* (18,2%) y *Quinqueloculina lamarckiana* (10,1%) dominan la asociación. Los miliolidos llegan al 10,7% de la microfauna. Los planctónicos tienen una notoria presencia (30,3%, 9 especies), siendo *Globigerina praebulloides* común (17,9%). Se encuentran 11 géneros y 17 especies bentónicas, con una dominancia baja (0,18) y una diversidad Alpha de 4,75 excluyendo la fauna planctónica y de 7,28 incluyéndola. Hay una fauna mayoritariamente infaunal (65,8%), un *Foraminiferal number* de 48 foraminíferos/g y un *FoRAM Index* bajo (1,98).

La asociación **QT** (muestra DDS029, Grupo 5) está compuesta por *Quinqueloculina laevigata* (83,1%) y *Triloculina trigonula* (12,8%). Se distingue por su preservación deficiente. La asociación tiene 5 géneros y especies bentónicas, con una dominancia de 0,70 y una diversidad Alpha de 1,10. El *Foraminiferal number* de 42 foraminíferos/g está asociado a una predominancia de formas epifaunales y a un *FoRAM Index* de 1,96. La fauna planctónica está ausente.

Para describir la posición estratigráfica de las asociaciones encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes de manera efectiva se tomó arbitrariamente como “*datum*” de referencia el contacto entre las dos formaciones. El espesor estratigráfico (en metros) de la Fm. Jimol es representado en números negativos decrecientes entre la base y el techo de la unidad, mientras que la Fm. Castilletes se representa con números positivos que aumentan de base a techo (Fig. 5). Las asociaciones encontradas presentan la siguiente distribución estratigráfica de base a techo:

Formación Jimol

Intervalo -130 a -100 m (Fig. 5)

En la parte media de la Fm. Jimol fueron encontradas cuatro asociaciones estratigráficamente próximas pero diferentes en su estructura. La asociación **Am** (grupo 1, muestra DDS009) ubicada en los -120 m presenta un dominio del género *Ammonia* con mala preservación, junto con fragmentos de bivalvos. Suprayaciéndola en los 119 m se encuentra una asociación **NnQ** dominada por planctónicos y el género *Nonionella* (Grupo 4, muestra DDS008), acompañados de fragmentos de equinodermos y ostrácodos levemente ornamentados. Estas dos se localizan debajo de una asociación **AgHzT** ubicada en los -118 m dominada por *Amphistegina* (grupo 2, muestra DDS007) y con presencia de fragmentos de bivalvos, gastrópodos y equinodermos. Ubicada en los -110 m, la asociación **Am** (grupo 1, muestra DDS010) nuevamente se presenta por encima acompañada también por fragmentos de bivalvos.

Intervalo -100m a 0 m

En la zonas media y media superior de la Formación Jimol se encontraron tres muestras sin recobro de foraminíferos en los -104, -62 y -59 m, en las cuales no hay evidencia de macrofauna asociada.

Formación Castilletes

Intervalo 0m a 120 m

En este intervalo ubicado en la zona baja de la Fm. Castilletes se encontraron cuatro asociaciones **AmHz** y **Am** (muestras 34958, DDS030, DDS022 y DDS023, grupo 1) en los 22, 91, 119 y 120m intercaladas con cuatro muestras estériles (34957, 34959, DDS016 y DDS017) ubicadas en los 15, 29, 48, 108 m. De las muestras con recobro de foraminíferos solo dos presentaron fauna asociada; 34958 (asociación **Am**) con ostrácodos de concha lisa y DDS030 (**AmHz**) con fragmentos de bivalvos. Vale la pena mencionar que la muestra DDS030 fue colectada en sedimentos asociados a un dentario de un vertebrado marino de gran tamaño.

Intervalo 120 a 142 m

En la parte superior de la zona baja se encuentran dos asociaciones **HZNmAm** (Grupo 3) dominadas por *H. concentrica* y porcentajes importantes de foraminíferos planctónicos (muestras DDS026 y 34960) en los 138 y 142 m. De estas dos solo la muestra DDS026 tiene fauna asociada, caracterizada por la

presencia de fragmentos de moluscos, gastrópodos, equinodermos y ostrácodos levemente ornamentados.

Intervalo 142 a 194 m

Este intervalo, ubicado en la zona media de la formación, registra una asociación **QH_z** en los 185 m (muestra DDS028, grupo 2). Se encontraron también fragmentos de bivalvos y ostrácodos de concha lisa. Por encima, en los 194 m, se halló una asociación **QT** (muestra DDS029, Grupo 5) junto con fragmentos de bivalvos y una fuerte dominancia de foraminíferos porcelanáceos de los géneros *Quinqueloculina* y *Triloculina*.

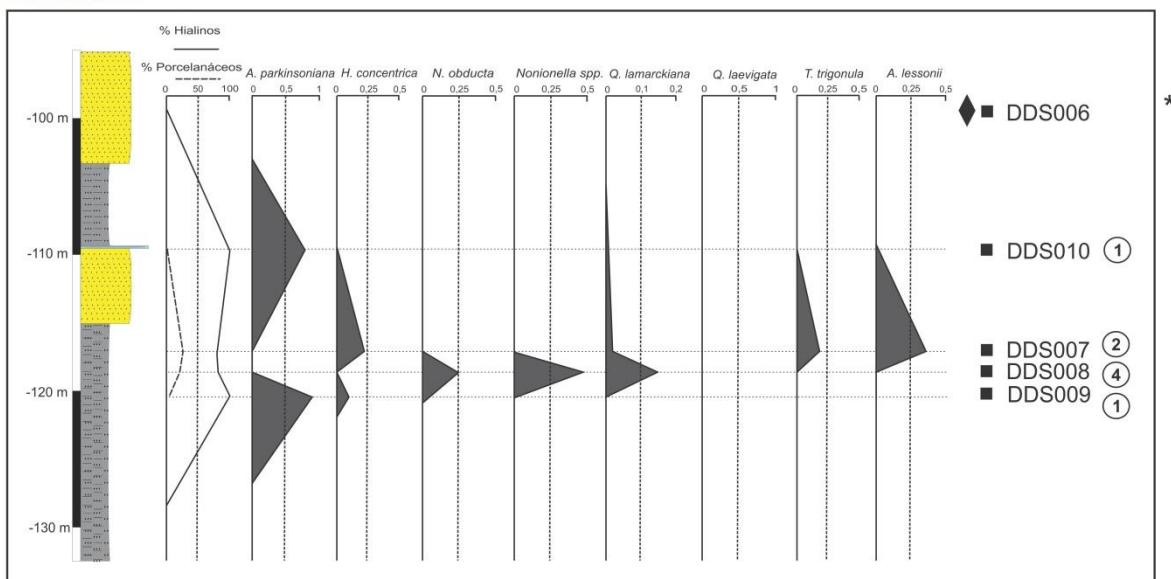
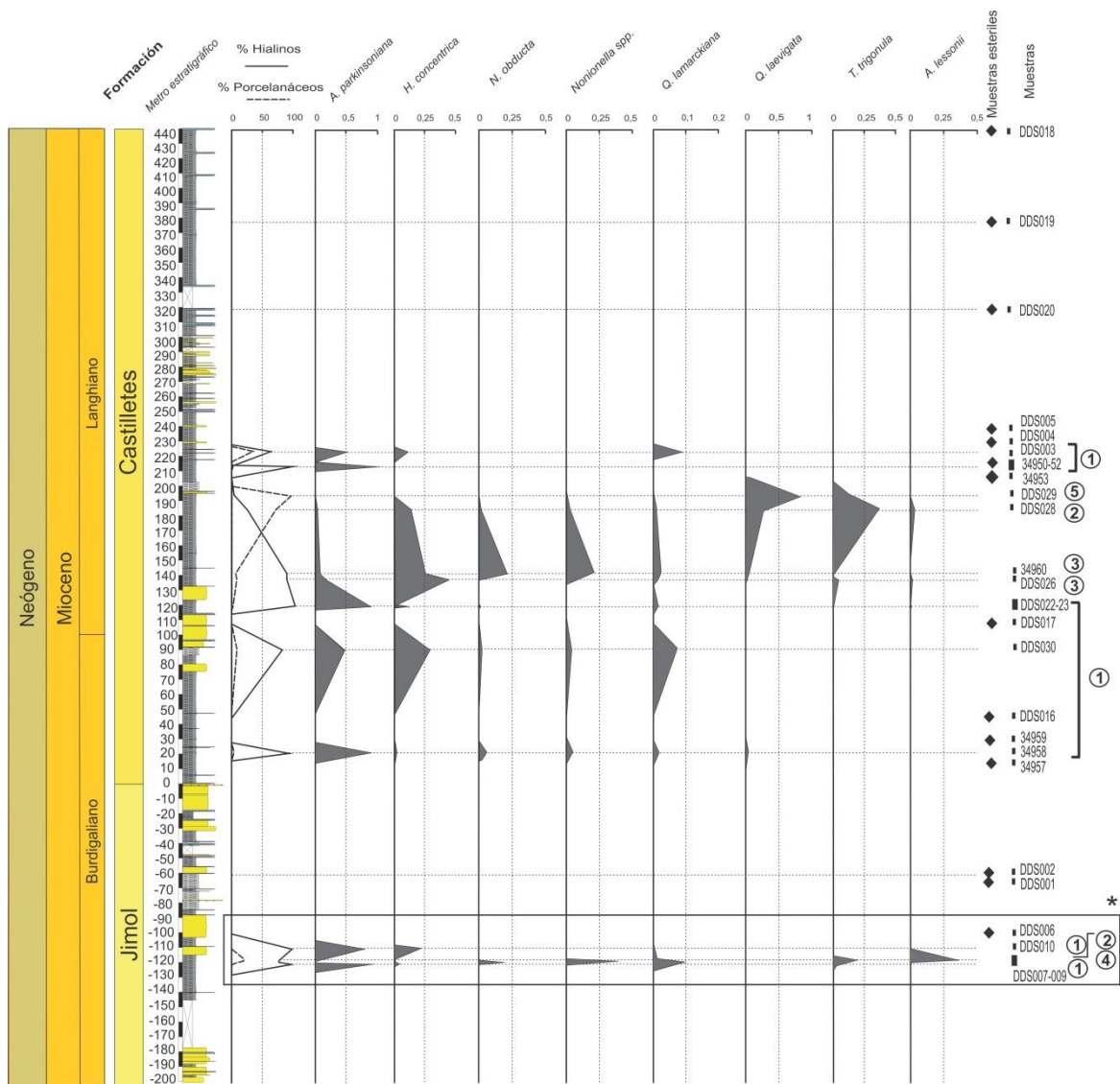
Intervalo 194 a 224 m

Esta zona es similar al intervalo más basal de la Fm. Castilletes. Nuevamente se registra la presencia de asociaciones **Am** y **AmH_z** dominadas por el género *Ammonia* (muestras 34951 y DDS003, grupo 1) en los 214 y 224 m, intercaladas por muestras estériles (muestras 34953, 34952 y 34950) ubicadas en los 208, 211 y 217 m. Respecto a la macrofauna asociada, solo la muestra DDS003 presenta fragmentos de bivalvos y escafópodos.

Intervalo 224 a 440 m

Desde la zona media superior a la zona superior de la Formación Castilletes se encontraron cinco muestras estériles en los 227, 239, 320, 378 y 440 m (muestras DDS004, 005, 020, 019 y 018).

Figura 5. Distribución estratigráfica de las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes. Se muestran frecuencias relativas (%) de los géneros más comunes colectados en el muestreo y los porcentajes de fauna hialina y porcelanácea de cada muestra. La zona media de la Formación Jimol se muestra expandida en la parte inferior de la gráfica. Los números rodeados de círculos muestran el tipo de asociación que se presenta en cada muestra según el análisis de agrupamiento (Fig. 4) (modificado de Moreno et al., 2015).



4. Discusión

4.1. Aportes al conocimiento micropaleontológico de las unidades estudiadas

En estudios micropaleontológicos previos en la Cuenca de Cocinetas (e.g. Becker y Dusenbury, 1958; Bürgl, 1960; Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010) se reportan 25 especies agrupadas en 23 géneros de foraminíferos bentónicos y 9 especies agrupadas en 4 géneros de foraminíferos planctónicos. Entre estos, 23 especies (22 géneros) bentónicas fueron encontrados en la Fm. Jimol, mientras que en la Fm. Castilletes se describieron 2 especies bentónicas (2 géneros). No existían reportes de fauna planctónica para Castilletes. A modo de contraste, en el presente estudio se reportan 39 especies (20 géneros) de foraminíferos bentónicos, unidos a 12 especies (6 géneros) de foraminíferos planctónicos para ambas unidades geológicas. De estos taxa, 24 especies (9 géneros) bentónicas, junto con 8 especies planctónicas constituyen nuevos reportes para Jimol; mientras que 28 especies (16 géneros) bentónicas, junto con 10 especies (5 géneros) planctónicas representan taxa que no habían sido encontrados previamente en Castilletes.

De estos reportes, 5 especies bentónicas y 4 especies planctónicas fueron colectadas en común con estudios previos de las Formaciones Jimol y Castilletes (Bürgl, 1960; Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010) (Tabla. 4). Respecto a Becker y Dusenbury (1958), se encontraron 10 taxa bentónicos y 2 planctónicos en común, aunque las localidades muestreadas en dicho estudio son consideradas hoy en día como pertenecientes a la Formación Uitpa (Renz, 1960; Moreno et al., 2015). Esta Formación ha sido datada en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano y por lo tanto presenta una fauna más antigua (Tabla. 4). Las especies reportadas en común con estudios micropaleontológicos previos realizados en la zona se detallan a continuación.

De la fauna planctónica asociada a la Fm. Jimol (Capas de Siapana) los taxa *G. trilocularis* y *G. rubra* (Bürgl, 1960) son relacionados a partir de su morfología con *G. praebulloides* y *G. subquadratus* colectadas en el presente estudio. La especie *G. mayeri* (= *Paragloborotalia mayeri*) fue colectada y usada para datar la Fm. Jimol como Mioceno Temprano en concordancia con Bürgl (1960). Los taxa bentónicos *Saracenaria itálica carapitana*, *Buliminella elegantissima*, *B. basistriata nuda*, *Uvigerina subperegrina*, *Bolivina imporcata* y *Cassidulinoides erecta* no fueron encontrados en este análisis.

De la fauna obtenida por Renz (1960) para la Formación Jimol es relevante mencionar que en este trabajo no se identificaron especies de los géneros

Miogypsina, *Lepidocyclina* y *Heterostegina*; pero si se colectaron cantidades importantes del género *Amphistegina* y de individuos colectados por este autor de concha porcelanácea del género *Massilina*. Rollins (1965) no reporta microfauna para la Formación Jimol.

En un trabajo reciente (Zapata, 2010) reporta para la Fm. Jimol una microfauna asociada a condiciones de plataforma entre las cuales se encuentran en común *Lenticulina americana* e individuos pertenecientes al género *Rotalia* (= *Ammonia*). También se considera *Nonion incisum* como fauna coincidente con base en la similitud morfológica que comparte este taxón reportado por Zapata (2010) con *Nonionella obducta*, la cual fue colectada con frecuencia en las Formaciones Jimol y Castilletes (Tabla. 3).

En contraste con la Fm. Jimol, para la Fm. Castilletes no se encontró fauna que coincidiera con la mayoría de los trabajos previos en la zona (Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010). Renz (1960) reportó fauna bentónica dominada por el género *Miogypsina*, el cual no se halló en las muestras analizadas en este estudio. Rollins (1965) reportó una fauna arenácea no descrita y Zapata (2010) no encontró muestras con recobro de foraminíferos. Por otro lado, Bürgl (1960) reporta para los alrededores de Puerto López, considerados como zonas donde aflora la Formación Castilletes (Renz, 1960; Moreno et al., 2015), una microfauna pobre dominada por *Streblus beccarii* (Linneo). En el presente estudio se propone que los ejemplares asignados a esta especie por Bürgl (1960) representan a *Ammonia parkinsoniana* y *Ammonia tepida*, colectadas con frecuencia en las Formaciones Jimol y Castilletes (Tabla 3, Tabla 4, Anexo 2).

Aunque la fauna descrita cerca de las localidades de Uitpa y de Sillamana (Becker y Dusenbury, 1958) al parecer pertenece a la Fm. Uitpa, es relevante mencionar que están presentes varios taxa en común con la fauna descrita para la Fm. Jimol. La fauna planctónica en común está representada por los taxa *Globigerina* cf. *bulloides* y *Globigerina* cf. *concinna*, las cuales son asignadas en este caso a *Globigerina praebulloides* y *Globoturborotalita ciperoensis*.

La fauna bentónica de ambos estudios comparte los taxa *Valvulineria venezuelana*, *Hanzawaia mantaensis*, *Lenticulina americana*, *L. iota*, *Bolivina pisciformis*, y *Uvigerina capayana*. Los taxa descritos por Becker y Dusenbury (1958) como *Cibicides* sp. A, *Robulus cristobalensis*, *Nonion incisum* y *Textularia cubana* son también asociados morfológicamente con *Hanzawaia concentrica*, *Lenticulina* sp. 1, *Nonionella obducta* y *Textularia panamensis* descritos entre la microfauna de la Fm. Jimol.

En el presente estudio se hallaron 28 nuevas especies para la Formación Jimol, mientras que para Castilletes se describen 37 nuevos reportes. La microfauna descrita en el presente trabajo contribuye al conocimiento micropaleontológico de las unidades estudiadas y muestra similitudes importantes entre las microfaunas de las Formaciones Jimol y Uitpa.

Tabla 4. Fauna descrita en común entre el presente estudio y trabajos micropaleontológicos previos realizados en la Cuenca de Cocinetas.

Taxón	Delgado-Sierra	Zapata, 2010	Renz, 1960	Burgl, 1960	Becker y Dusenbury, 1958	Formación
<i>Ammonia</i> spp.	X	X		X		Castilletes y Jimol
<i>Globigerinoides subquadratus</i>	X			X (<i>Globigerinoides rubra</i>)		Jimol
<i>Paragloborotalia mayeri</i>	X	X (<i>Globorotalia mayeri</i>)		X (<i>Globorotalia mayeri</i>)		Jimol
<i>Globigerinoides inmaturos</i>	X	X				Jimol
<i>Globigerina praebuloides</i>	X	X		X (<i>Globigerina trilocularis</i> ?)	X (<i>Globigerina</i> cf. <i>bulloides</i>)*	Uitpa y Jimol
<i>Globoturborotalita ciperoensis</i>	X				X (<i>Globigerina concinna</i>)*	Uitpa
<i>Massilina</i> sp.	X		X			Jimol
<i>Amphistegina</i> sp.	X		X			Jimol
<i>Nonionella obducta</i>	X	X (<i>Nonion incisum</i>)			X (<i>Nonion incisum</i>)*	Uitpa y Jimol
<i>Lenticulina americana</i>	X	X			X*	Uitpa y Jimol
<i>Valvulineria venezuelana</i>	X				X*	Uitpa
<i>Hanzawaia mantaensis</i>	X				X*	Uitpa
<i>Hanzawaia concentrica</i>	X				X (<i>Cibicides</i> sp. A)*	Uitpa
<i>Lenticulina iota</i>	X				X (<i>Robulus iota</i>)*	Uitpa
<i>Lenticulina</i> sp. 1	X				X (<i>Robulus cristobalensis</i>)*	Uitpa
<i>Bolivina pisciformis</i>	X				X*	Uitpa
<i>Uvigerina capayana</i>	X				X*	Uitpa
<i>Textularia panamensis</i>	X				X (<i>Textularia cubana</i>)*	Uitpa

*Estos taxa fueron colectados en la Formación Uitpa

4.2. Inferencias de edad a partir de foraminíferos planctónicos

De las 14 muestras con recobro de foraminíferos, 8 presentaron recobro de fauna planctónica (Tabla 5). Todos los foraminíferos planctónicos colectados en estas muestras fueron usados para determinar la edad de las formaciones estudiadas.

Tabla 5. Abundancia absoluta de los foraminíferos planctónicos identificados en las muestras colectadas en las Formaciones Jimol y Castilletes. Las muestras están organizadas de base a techo de derecha a izquierda, siendo DDS008, y DDS007 pertenecientes a la Formación Jimol.

	Muestras							
	DDS028	34960	DDS026	DDS022	DDS030	34958	DDS007	DDS008
<i>Globigerina praebulloides</i>		25	10	2	21	1	2	47
<i>Globoturborotalita ciperoensis</i>		2				1		6
<i>Globigerina falconensis</i>			1					
<i>Globoturborotalita ouachitensis</i>		2			2			14
<i>Globigerinoides primordius</i>	1	7	21	2			3	13
<i>Globigerinoides altiapertura</i>								1
<i>Globigerinoides subquadratus</i>		1	6	1			3	1
<i>Globigerinoides bulloideus</i>		3						
<i>Globigerinoides triloba</i>		4	5	1	2		1	1
<i>Globigerinoides sp.</i>	2	1						1
<i>Globigerinita cf. uvula</i>					1			
<i>Sphaeroidinopsis cf. disjuncta</i>					1			
<i>Paragloborotalia mayeri</i>								1
<i>Globigerinoides indeterminado</i>		4	1	2	1			

Formación Jimol

En esta unidad se encontraron *G. praebulloides*, *G. ciperoensis*, *G. ouachitaensis*, *G. primordius* y *G. triloba*; las cuales presentan rangos cronoestratigráficos amplios que no permiten asignar una edad específica (Kennett, y Srinivasan, 1983; Bolli y Saunders, 1985; Chaisson y d'Hondt, 2000). Por otro lado, taxa como *G. subquadratus*, *G. altiapertura* y *P. mayeri* presentan un rango más restringido que permite asignar la Fm. Jimol a la biozona de *Globigerinoides primordius* y a la subzona de *Catapsydrax stainforthi* del Mioceno Temprano (Rincón et al., 2007) (Fig. 6).

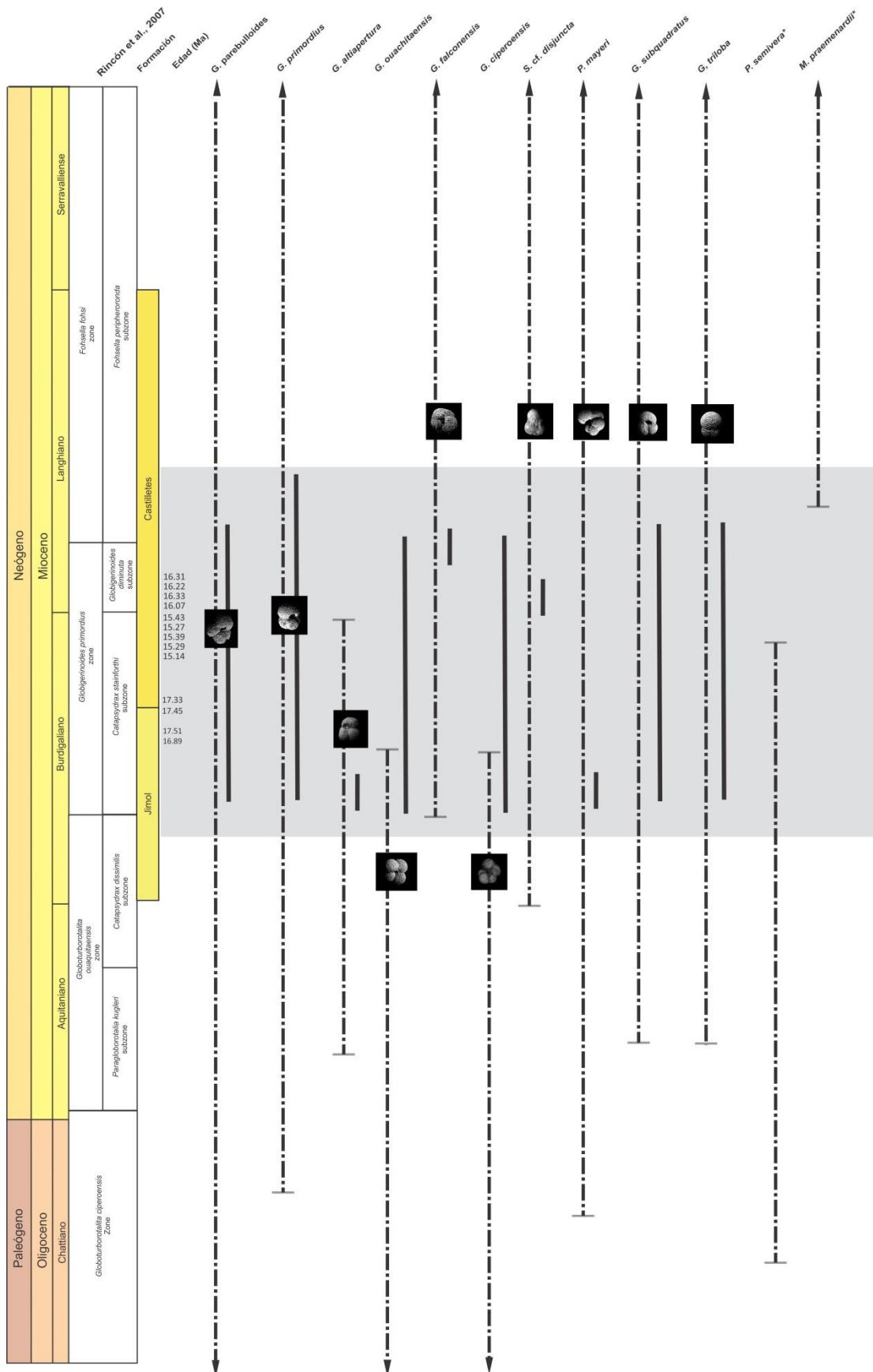
Esto se opone a asignaciones de edad Oligoceno Medio y Tardío basadas en foraminíferos bentónicos (Renz, 1960) y coincide con la edad calculada usando fauna planctónica de estudios previos (Bürgli, 1960; Zapata, 2010), en la cual se asigna la Formación al Mioceno Temprano con base en la presencia de *Globorotalia semivera* (= *Paragloborotalia semivera*) y *Globorotalia mayeri* (= *Paragloborotalia mayeri*). La datación de la Fm. Jimol a partir de cronoestratigrafía isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y de la macrofauna presente también concluye una asignación al Mioceno Temprano tardío (Burdigaliano) (Moreno et al., 2015).

Formación Castilletes

La fauna planctónica de la Fm. Castilletes está compuesta en parte por los taxa *G. praebulloides*, *G. primordius*, *G. subquadratus* y *G. triloba* que también se encuentran presentes en la Fm. Jimol y no permiten una asignación específica de edad. *G. ciperoensis*, *G. ouachitaensis*, *G. cf. uvula*, *S. cf. disjuncta* y *G. falconensis* también están presentes aunque en frecuencias bajas. La presencia de *G. falconensis*, *G. primordius*, *G. triloba* y *G. bulloideus* sugieren un rango de edad ubicado entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Tardío (Kennett, y Srinivasan, 1983). Por otro lado la presencia de *G. praebulloides*, *G. subquadratus*, *G. ciperoensis*, *G. ouachitaensis* y *S. cf. disjuncta* insinúa un rango más delimitado de edad que sugiere aproximadamente una edad ubicada entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio.

Es importante mencionar que la escasez de fauna planctónica cuantificada en las Formaciones Jimol y Castilletes hace que la datación bioestratigráfica de las unidades sea compleja. Aun así la alta frecuencia de *G. praebulloides*, la cual es común en sedimentos del Mioceno Temprano de latitudes bajas (Wilson, 2005), y la presencia importante del género *Globigerinoides*, permiten inferir una edad para estas unidades no más antigua que el límite entre el Oligoceno y el Mioceno (Kennett, y Srinivasan, 1983). De igual manera, la presencia de taxa como *G. ouachitaensis* y *G. ciperoensis* permiten asignar a estas unidades a una edad no más reciente que el Mioceno Medio. Esto muestra que, en términos generales, este rango temporal concuerda con la datación de las Formaciones Jimol y Castilletes a partir de cronoestratigrafía isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y macrofauna (Renz, 1960; Moreno et al., 2015).

Figura 6. Rangos cronoestratigráficos de las especies de foraminíferos planctónicos identificados en las Formaciones Jimol y Castilletes. Las líneas punteadas muestran el rango reportado en la bibliografía (e.g. Kennett, y Srinivasan, 1983) mientras que las líneas solidas muestran el rango en el que se encontraron en el presente estudio. *Se muestran sin imágenes los taxa reportados en estudios previos en la zona (e.g. Bürgli, 1960; Zapata 2010). En la columna izquierda se muestran las biozonas establecidas por Rincón et al (2007) para el Mar Caribe, adaptadas a las Formaciones Castilletes y Jimol con base en las dataciones cronoestratigrafías $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ realizadas en las formaciones (Moreno et al., 2015).



4.3. Foraminíferos de la Isla de Barú como análogos modernos

El estudio de la estructura de comunidades de foraminíferos de ambientes marinos modernos ha sido ampliamente usado para interpretar asociaciones de microfósiles del Cenozoico (e.g. Bandy y Arnal, 1960; Gibson, 1988; Murray, 1991, 2006). Esto es posible dado que existen varios géneros que están presentes en el registro fósil durante gran parte del Neógeno, lo que permite que se puedan realizar inferencias paleoecológicas a partir de faunas antiguas y modernas con características análogas.

Entre las variables usadas para interpretar paleoambientes se consideran: (1) La cantidad de taxa presentes (e.g. Bandy y Arnal, 1960; Gibson, 1988), (2) la proporción de foraminíferos planctónicos (e.g. Emery y Myers, 1996, Hayward et al., 1999), (3) el Índice de diversidad Alpha con relación a la profundidad y la distancia con respecto a la costa (e.g. Murray, 2006), (4) la proporción de fauna epifaunal e infaunal en relación a la cantidad de oxígeno y nutrientes (Jorissen et al., 1995; Reolid et al., 2008) y (5) el FoRAM Index y su relación con condiciones oligotróficas beneficiosas para el crecimiento de arrecifes coralinos (Hallock et al, 2003; Hallock, 2012).

Estas variables fueron analizadas en diferentes puntos de muestreo situados alrededor de la Isla de Barú (Fig. 7), al Sur del Mar Caribe colombiano. En dichos puntos se presentan diferentes tipos de ambientes de depositación que incluyen ambientes estuarinos, lagunares y marinos (Tabla. 6). Este estudio fue realizado para buscar asociaciones fósiles de foraminíferos en las Formaciones Jimol y Castilletes que pudiesen ser relacionadas a ambientes modernos con base en la similitud su estructura.

Tabla 6. Localidades modernas estudiadas alrededor de la Isla de Barú en el Caribe Colombiano. Las columnas muestran variables asociadas a cada tipo de ambiente.

Localidad	Géneros bentónicos	Géneros planctónicos	Planctic/Benthic	%Planctónicos	TAU value	Epifaunal	Infaunal	Diversidad alfa	Dominancia	FoRAM Index	Ambiente
Periquito	26	4	0,054	5,10%	132,6	62%	38%	9,267	0,1024	1,689	Plataforma carbonatada
Barú Sur	28	5	0,062	5,80%	162,4	51%	49%	10,120	0,1203	2,362	Plataforma carbonatada
Los Vásquez	7	1	0,002	0,29%	2,03	59%	41%	1,683	0,4156	1,590	Laguna marina
Portonaito	9	0	0	0%	0	12%	88%	1,336	0,4414	1,296	Laguna marina
Ciénaga Honda	10	0	0	0%	0	65%	35%	1,549	0,4727	1,479	Laguna marina
Barbacoas	5	2	0,005	0,53%	2,65	2%	98%	0,8218	0,6746	1,007	Estuarino
C1	2	0	0	0%	0	12%	88%	0,3642	0,7986	1,074	Estuarino
D1	1	0	0	0%	0	0%	100%	0,1544	1,0000	1	Estuarino

Las localidades con ambiente de plataforma fueron representadas por Periquito y Barú Sur (puntos 7 y 8, Fig. 7), que presentaron entre 24 y 26 géneros de foraminíferos bentónicos y entre cuatro y cinco géneros planctónicos. Estas localidades, más lejanas de la costa y de mayor profundidad, tienen una

diversidad, una proporción de fauna planctónica (planktic/benthic ratio, % planctónicos) y valores TAU mayores con respecto a las localidades más proximales. La dominancia varió entre 0,1024 y 0,1203, lo que permite afirmar que no existen taxa que imperen de manera clara en las asociaciones. El FoRAM Index en estos puntos de muestreo varió entre 1,6 y 2,3 indicando condiciones cercanas a las que permiten el crecimiento coralino (Hallock et al, 2003; Hallock, 2012), esto coincide con proporciones mayores al 50% de fauna epifaunal representativa de condiciones oligotróficas (Murray, 2006) (Tabla 6).

Los puntos de muestreo D1 y C1 están ubicados en la Bahía de Cartagena; la localidad de Barbacoas está situada en la Bahía del mismo nombre (puntos 1,3 y 6; Fig. 7). Ambas Bahías tienen condiciones estuarinas debido a la desembocadura de agua dulce proveniente del Canal del Dique (Mogollón, 2013) (Fig. 7). Los foraminíferos planctónicos están casi ausentes de estos ambientes, mientras que la cantidad de géneros bentónicos varía entre 1 y 5, lo que implica valores del Índice de diversidad Alpha inferiores a 1. Las asociaciones presentes en estos ambientes muestran una fuerte dominancia del género infaunal *Ammonia* (Tabla 7), lo que lleva a que se presenten valores altos de dominancia y porcentajes mayores del 85% de formas infaunales, lo que se relaciona a condiciones eutróficas asociadas a valores bajos de FoRAM Index (Hallock, 2012) (Tabla 6).

Las localidades de Los Vásquez, Portonaíto y Ciénaga Honda son ciénagas marinas (Puntos 2, 4 y 5, Fig. 7) con presencia baja de fauna planctónica y entre 7 y 10 géneros bentónicos con valores de Índice de diversidad Alpha entre 1,3 y 1,6. Los valores de dominancia son intermedios entre los encontrados en condiciones estuarinas y de plataforma, a la vez que los valores de FoRAM Index <2 representan entornos no aptos para el crecimiento coralino (Hallock et al., 2003). Además del género *Ammonia*, en estas localidades también se encuentran *Quinqueloculina* y *Criboelphidium* como componentes relevantes de la fauna (Tabla 7)

Las asociaciones de foraminíferos encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes que tienen mayor similitud con las localidades modernas con base en las variables analizadas (Tabla 6) concuerdan con los resultados obtenidos a partir del análisis de agrupamiento (análisis *cluster*) realizado (Fig. 4). El grupo 1 representa asociaciones con cantidades de géneros, proporciones de fauna planctónica, Índice de diversidad Alpha y FoRAM Index bajos. Dentro del grupo 1 se diferencian las asociaciones **Am** (muestras 34951, 34958, DDS009, DDS010 y DDS023), caracterizada por porcentajes superiores al 80% del género *Ammonia*, dominancia alta y proporciones altas de fauna epifaunal; y la asociación **AmHz**, con presencia dominante pero inferior al 68% del género *Ammonia* y

representación importante de géneros como *Hanzawaia* y *Quinqueloculina*. Este grupo tiene características afines a las localidades más proximales alrededor de la Isla de Barú

La asociación **Am** tiene mayor similaridad con las localidades modernas asociadas a condiciones estuarinas con base en los altos porcentajes de *Ammonia*, la alta dominancia, diversidad Alpha <1 y proporciones de fauna infaunal > 90% (Murray, 2006). Por otro lado la asociación **AmHz** presenta semejanza con las localidades modernas con ambientes de laguna marina, teniendo en cuenta la diversidad y el FoRAM Index mayores con respecto a la asociación **Am** y la mayor variabilidad respecto a la proporción de fauna infaunal (entre 80 y 52 %) (Tabla 6).

Los grupos 2, 3 y 4 del análisis de agrupamiento (Fig. 4) fueron asociados a las localidades modernas con ambientes de plataforma basados en diversidades mayores y proporción alta de fauna epifaunal y planctónica. Es importante mencionar que en las muestras 34960, DDS007, DDS008, DDS026 y DDS028, incluidas en estos grupos por el análisis de agrupamiento, también tienen en común con las localidades de Portonaíto y Barú Sur la presencia importante de géneros como *Nonionella*, *Hanzawaia*, *Quinqueloculina* y *Triloculina*.

Los porcentajes cercanos al 5% de fauna planctónica que existe en las localidades modernas con ambientes de plataforma así mismo concuerdan con el porcentaje mayor de fauna planctónica entre las asociaciones **NnQ** y **HZNmAm** agrupadas dentro de los grupos 3 y 4. En estos grupos se encuentran las mayores proporciones de géneros como *Globigerina* y *Globigerinoides*, lo que sugiere que estas asociaciones fósiles están relacionadas a ambientes de depositación ubicados a una distancia mayor con respecto a la costa. Para la asociación **QT**, caracterizada por la dominancia de fauna de concha porcelanacea, no se encontró una localidad moderna con características análogas.

Tabla 7. Localidades modernas con asociaciones de foraminíferos similares a las encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes.

Localidad	Ambiente	Géneros característicos	Asociaciones análogas en las Formaciones Jimol y Castilletes
Periquito	Plataforma	<i>Quinqueloculina</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Criboelphidium</i> , <i>Rosalina</i> , <i>Reophax</i>	34960, DDS007, DDS008, DDS026, DDS028,
Barú Sur	Plataforma	<i>Quinqueloculina</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Criboelphidium</i> , <i>Nonionella</i> , <i>Nonion</i> , <i>Hanzawaia</i>	
Los Vásquez	Laguna marina	<i>Ammonia</i> , <i>Quinqueloculina</i>	DDS003, DDS022, DDS030,
Portonaíto	Laguna marina	<i>Ammonia</i> , <i>Criboelphidium</i> , <i>Elphidium</i> , <i>Quinqueloculina</i>	
Ciénaga Honda	Laguna marina	<i>Ammonia</i> , <i>Quinqueloculina</i>	
Barbacoas	Estuarino	<i>Ammonia</i> , <i>Eggerella</i>	34951, 34958, DDS009, DDS010, DDS023
C1	Estuarino	<i>Ammonia</i>	
D1	Estuarino	<i>Ammonia</i>	

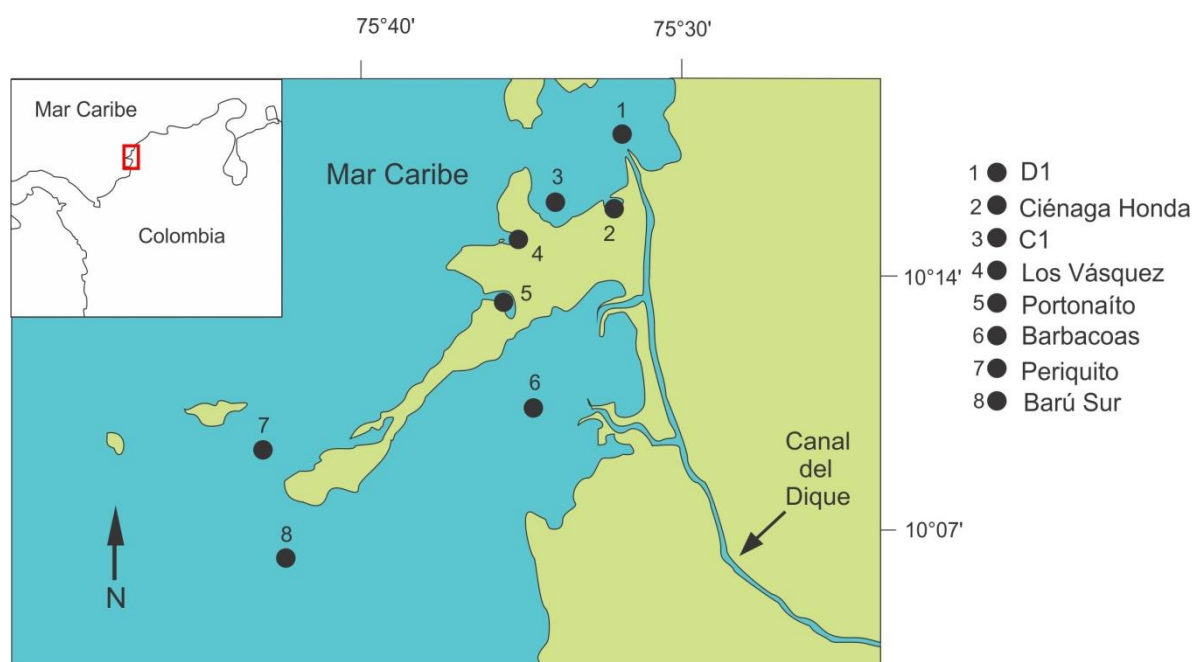


Figura 7. Ubicación geográfica de las localidades analizadas alrededor de la Isla de Barú (sur del Caribe colombiano). Se muestran las tres desembocaduras del Canal del Dique. Modificado de Google Earth.

4.4. Morfología del género *Ammonia* como indicador paleoambiental

Ammonia es uno de los géneros de foraminíferos bentónicos más comunes en ambientes marinos marginales, por lo cual es considerado como indicador en el registro estratigráfico de condiciones proximales (Murray, 1991). Además de esto se ha propuesto que su morfología al refleja condiciones fisicoquímicas del agua (Chang y Kaesler, 1974; Malmgren, 1984; Boltovskoy et al, 1991). Entre estas variaciones morfológicas relacionadas a variables ambientales se ha propuesto que *Ammonia* presenta tamaños de concha mayores en condiciones de bajas salinidades mientras que esta es de menor tamaño en condiciones óptimas de salinidad y más lejanas de la línea de costa (Bradshaw, 1961; Poag, 1978; Vénec-Plyré, 1983).

Este género es abundante en el Neógeno de la costa Caribe colombiana (e.g. Redmond, 1953; Petters y Sarmiento, 1956; Bürgl, 1960; Zapata, 2010) por tanto se explora aquí, mediante un análisis morfológico, como las diferencias en tamaño tienen un significado paleoambiental al confrontar esta información con el estudio microfaunal y estratigráfico. El diámetro máximo de la concha fue tomado como indicador del tamaño de los especímenes y como caracter de diferenciación, teniendo en cuenta que este rasgo ha sido usado para diferenciar poblaciones del género (e.g. Chang y Kaesler, 1974; Hayward et al, 2004).

Para distinguir las asociaciones fósiles de este género, que se pudiesen considerar relacionadas a condiciones eurihalinas con base en su morfología, se incluyeron en el análisis dos muestras modernas provenientes de ambientes estuarinos (Puntos 1 y 6 de Fig. 7). Luego de establecer que los datos presentaran distribución normal y que no tuvieran diferencias significativas de varianza (Test de Levene) se observó como las muestras DDS003, DDS026 y DDS030 tienen un promedio de diámetro de concha menor con respecto a las demás muestras (Fig. 8).

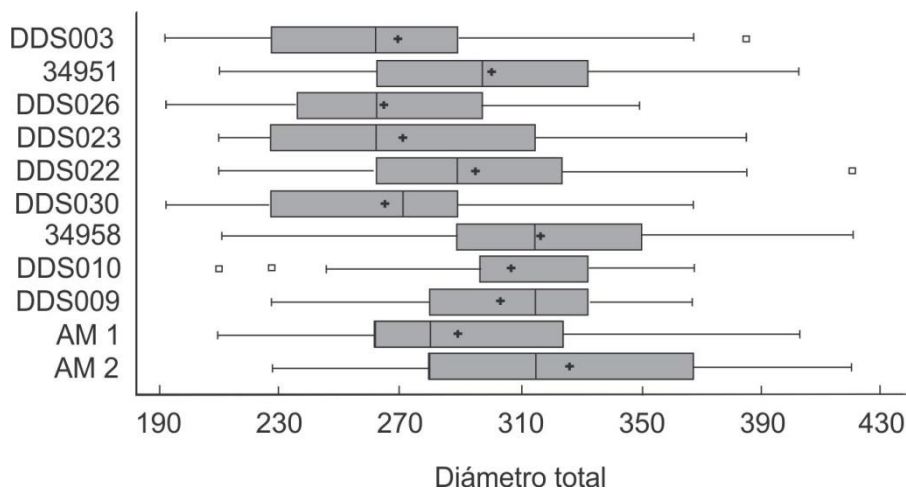


Figura 8. Comparación del diámetro máximo de concha (representado en forma de *boxplot*) de los individuos de *Ammonia* obtenidos en las muestras de las Formaciones Jimol y Castilletes en que este género presento frecuencias altas. Las muestras AM (Análogo Moderno) 1 y 2 representan el diámetro máximo de concha obtenido a partir de especímenes modernos tomados alrededor de la Isla de Barú, en las que se presentaban condiciones estuarinas y dominancia de *Ammonia* (puntos 1 y 6 en Fig. 7). El promedio se representa con un símbolo (+) mientras que la mediana es representada por la línea vertical que divide cada *boxplot*.

El análisis LDS (Fig. 9) y el análisis de medias (Fig. 10, A) ilustran como DDS003, DDS026 y DDS030 presentan diámetros significativamente más pequeños con respecto a las muestras que tienen rangos de variación morfológica concordante con las localidades estuarinas modernas. DDS003 y DDS030 presentan asociaciones **AmHz**, las cuales se asemejan a las faunas modernas de laguna marina (Tabla 7) y difieren de **Am** por tener una mayor diversidad. DDS026 está agrupada dentro del grupo 3 en la asociación **HzNmAm**. Esta está caracterizada por una proporción importante del género *Hanzawaia* y por una proporción de foraminíferos planctónicos cercana al 14% que estaría indicando mayor distancia con respecto a la costa (e.g. Emery y Myers, 1996, Hayward et al., 1999).

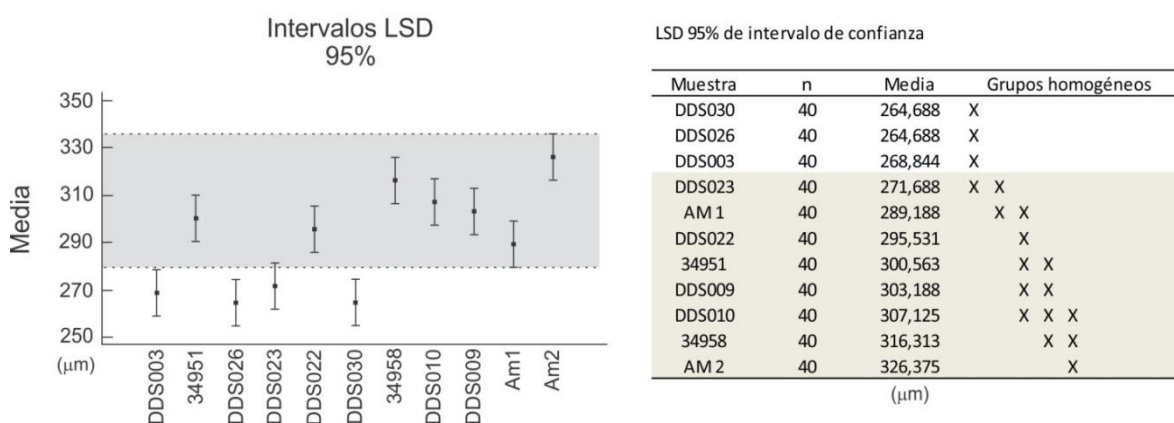


Figura 9. Intervalos LSD (Mínima Diferencia Significativa de Fisher) con intervalo de confianza del 95%. Las poblaciones de *Ammonia* de diámetro de concha significativamente menor en comparación con las demás muestras analizadas se observan fuera del área gris. Las X ubicadas en la misma columna en la gráfica derecha indican muestras sin diferencias estadísticamente significativas. La zona gris señala el rango en el que varía el diámetro máximo de la concha en las muestras modernas analizadas de ambientes estuarinos.

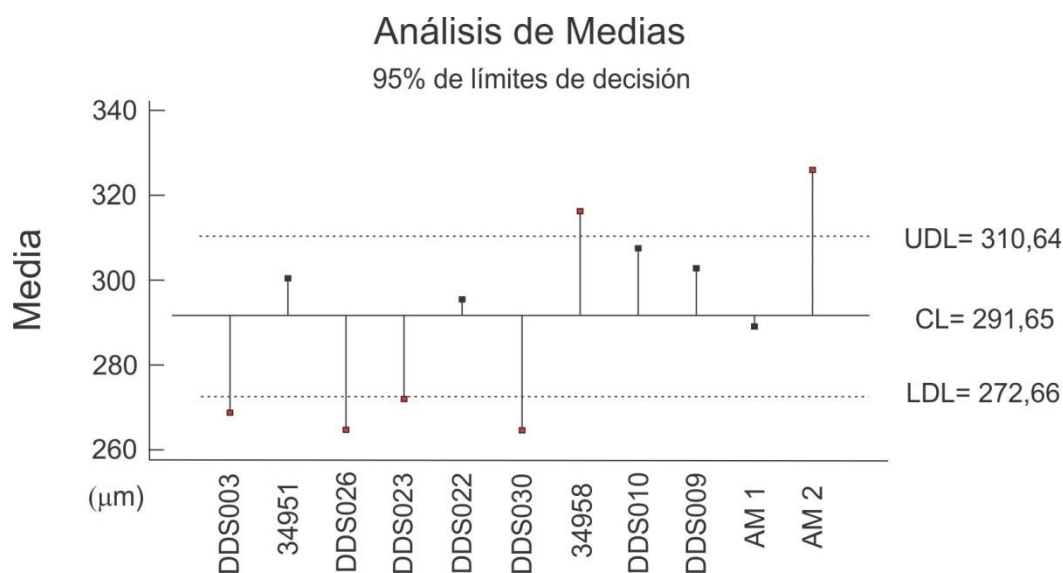
Según el análisis de medias (Fig. 10, A), 34958 y AM2 revelan diámetros de concha más grandes. AM2 (Ambiente estuarino moderno) coincide con 34958 en que ambas presentan predominancia de *Ammonia* de diámetro grande, lo que coincide con lo esperado a partir de estudios previos (Bradshaw, 1961; Poag, 1978; Vénec-Plyré, 1983). Las demás muestras varían dentro del rango morfológico asociado a condiciones marinas marginales modernas (34951, 34958, DDS009, DDS010, DDS022 y DDS023), y están asociadas al grupo 1 dentro del

análisis de agrupamiento que en su mayoría presentan asociaciones **Am** (DDS022 como excepción). La asociación **Am** está caracterizada por proporciones de *Ammonia* >80%, baja diversidad y proporciones inferiores al 0,5% de fauna planctónica.

Se encontró también una correlación positiva (coeficiente de correlación de 0,764) entre el % de *Ammonia* en las asociaciones fósiles y el diámetro promedio de concha. Esto podría indicar que a mayor distancia con respecto a la costa el tamaño de los especímenes tiende a ser menor. Un modelo de regresión lineal de la relación entre estas dos variables sugiere que la proporción de *Ammonia* en la asociación fósil explicaría en un 58,5% el diámetro máximo promedio de los especímenes (Fig. 10, B; Coeficiente de determinación = 0,585 y valor $p = 0,0163$).

Las demás capas analizadas en las Formaciones Jimol y Castilletes, y no incluidas en este análisis, presentan proporciones bajas de *Ammonia*, mayor diversidad y mayores porcentajes de fauna planctónica. De esta manera los resultados obtenidos en la presente investigación apoyan la premisa bajo la cual se esperan diámetros mayores en los individuos de *Ammonia* en condiciones proximales eurihalinas, además se evidencia como esta variable podría ser útil para realizar inferencias paleoambientales.

A.



B.

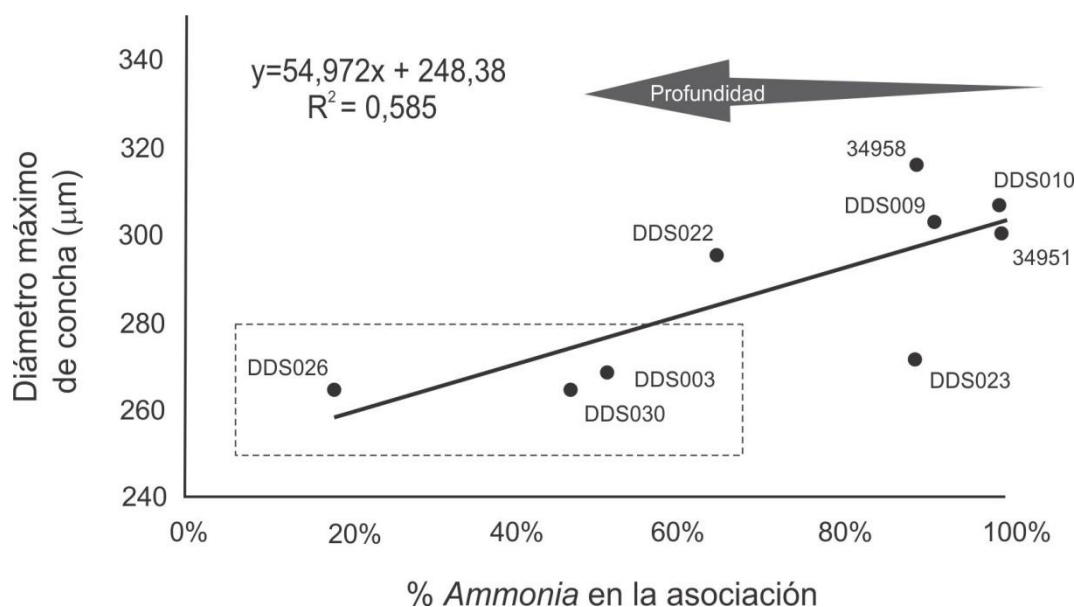


Figura 10. A. Análisis de medias con intervalos de confianza del 95%. A la derecha se indican los límites superior (UDL) e inferior (LDL) del intervalo de confianza, los cuales ilustran como DDS030, DDS026 y DDS003 presentan poblaciones de *Ammonia* con diámetro máximo de concha significativamente menor. 34958 y AM2 tienen diámetros significativamente mayores con respecto al resto de las muestras analizadas. **B.** Modelo de regresión lineal en el que se infiere que el porcentaje de *Ammonia* en la asociación explica en un 58% la magnitud del diámetro máximo promedio de concha en las poblaciones de este taxón. Se espera que la proporción de este género sea mayor en condiciones marinas marginales (Murray, 1991). El cuadro punteado indica las muestras en que se presentan *Ammonia* con promedios de tamaño de concha significativamente menores.

4.5. Interpretación paleoambiental

Luego de ubicar las asociaciones encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes en un contexto estratigráfico (Fig. 5), se plantean las siguientes interpretaciones paleoambientales con base en la estructura de las asociaciones, las especies indicadoras, el porcentaje de fauna planctónica, el análisis morfológico del género *Ammonia* y la comparación con asociaciones modernas descritas alrededor de la Isla de Barú en el Caribe colombiano y otros análogos modernos descritos (e.g. Phleger, 1960; Bandy y Arnal, 1960; Gibson, 1988; Murray, 1991, 2006):

Formación Jimol

Intervalo -130 a -100 m (Fig. 5)

En los -120 m de la Formación Jimol se encontró una asociación **Am** (muestra DDS009). Esta manifiesta una dominancia de foraminíferos de concha hialina (96%) (Fig. 13), en la cual se presenta un número de géneros bajo (Tabla 8, fig. 11, B). *Ammonia parkinsoniana* tiene una proporción del 91,4% y un diámetro promedio de 303,18 μm que se asemeja al de poblaciones de *Ammonia* presentes en localidades modernas de ambientes estuarinos (Isla de Barú, Bradshaw, 1961; Poag, 1978; Vénec-Plyré, 1983). La proporción de fauna infaunal es del 97% (Fig. 11, A) relacionado a un FoRAM Index indicador de condiciones no aptas para el desarrollo arrecifal (Tabla 8). El porcentaje de fauna planctónica es 0, por lo que el valor TAU indica condiciones cercanas a la costa. El valor de Índice de diversidad Alpha <5 apoya dicha inferencia (Murray, 2006). Estas variables llevan a que esta asociación sea relacionada con ambientes de plataforma interna restringida y condiciones estuarinas eutróficas.

En los -119 m se encontró una asociación **NnQ** (DDS008) con 84% de fauna de concha hialina (Fig. 13) asociada a un número alto de géneros (Fig. 11, B). El género *Nonionella* es muy importante en esta asociación (39,7%) junto a *Quinqueloculina lamarckiana* (10,1%). La proporción de formas infaunales es del 65,8% (Fig. 11, A), lo que unido al 30,3% de fauna planctónica dominada por *Globigerina praebulloides* (Fig. 14, A) sugiere condiciones de agua fría (Chaproniere, 1992; Li y McGowran, 1994; Wilson, 2005) y surgencia (*upwelling*) como el presentado en el norte de la Guajira moderna (Andrade y Barton, 2005). El porcentaje de foraminíferos planctónicos alto está asociado a un valor TAU de 515,1; lo cual unido a valores de diversidad Alpha >7 y presencia del género *Lenticulina* sugiere que esta asociación está relacionada a profundidades >40 m y condiciones de plataforma (Gibson, 1988; Murray, 2006). El hallazgo de *Uvigerina* con una proporción del 5%, unido a la predominancia de fauna planctónica, puede

ser considerado como indicador de última fase de un máximo del nivel del mar (*high stand system tract*) (Wilson, 2004).

Se encuentra similitud con la localidad moderna de Barú Sur, ubicada al Occidente de la Isla de Barú, por la presencia importante de fauna planctónica y de especies del género *Nonionella* (Tabla 7), el cual ha sido asociado a condiciones batiales superiores y de plataforma (Murray, 2006). Estas variables implican que esta asociación sea relacionada a un aumento del nivel del mar en la cuenca de Cocinetas en el que se pudieron presentar ambientes de plataforma media con fondos eutróficos.

La asociación **AgHzT** (muestra DDS007) está ubicada en los -118 m de la Fm. Jimol. La fauna de concha hialina representa el 79% (Fig. 13) y tiene una diversidad alta (Fig. 11, B; Tabla 8). Se presenta una proporción amplia de *Amphistegina lessonii* (Fig. 12), un valor de fauna planctónica de 2,7%, un valor TAU de 43,2 (Tabla 8) y una proporción de fauna infaunal de 5,2% (Fig. 11, A), lo cual estuvo asociado a un valor de FoRAM Index de 4,8 representativo de condiciones aptas para el crecimiento arrecifal (Hallock et al, 2003; Murray, 2006; Hallock, 2012). Esta asociación muestra un valor de FoRAM Index similar al que se puede encontrar en algunas zonas modernas de arrecife coralino al sur del Mar Caribe en Colombia (Velásquez et al., 2011). Se infiere que esta asociación representa condiciones posteriores al aumento de nivel del mar representado en la asociación **NnQ**, en las que se aprecia un cambio a condiciones oligotróficas y de menor profundidad. La presencia dominante del género *Globigerinoides* (Fig. 14, A) entre la fauna planctónica también apoya este escenario en vista de que este taxón ha sido relacionado a entornos de agua cálida como las que generalmente se dan en ambiente arrecifales (e.g. Li y McGowran, 1994).

Por encima se encontró la asociación **Am** (grupo 1, muestra DDS010) que nuevamente representa ambientes similares a los de la asociación encontrada en los -120m de la Formación Jimol. Se infiere que esta muestra representa una disminución de la profundidad de la cuenca asociada a circunstancias marinas marginales y tamaños de diámetro de concha del género *Ammonia* concordantes con ambientes estuarinos (Fig. 5, parte superior de la zona expandida).

Intervalo -100m a 0 m (contacto entre las Formaciones Jimol y Castilletes)

En las zonas media y media superior de la Formación Jimol se encontraron tres muestras sin recobro de foraminíferos en los -104, -62 y -59 m.

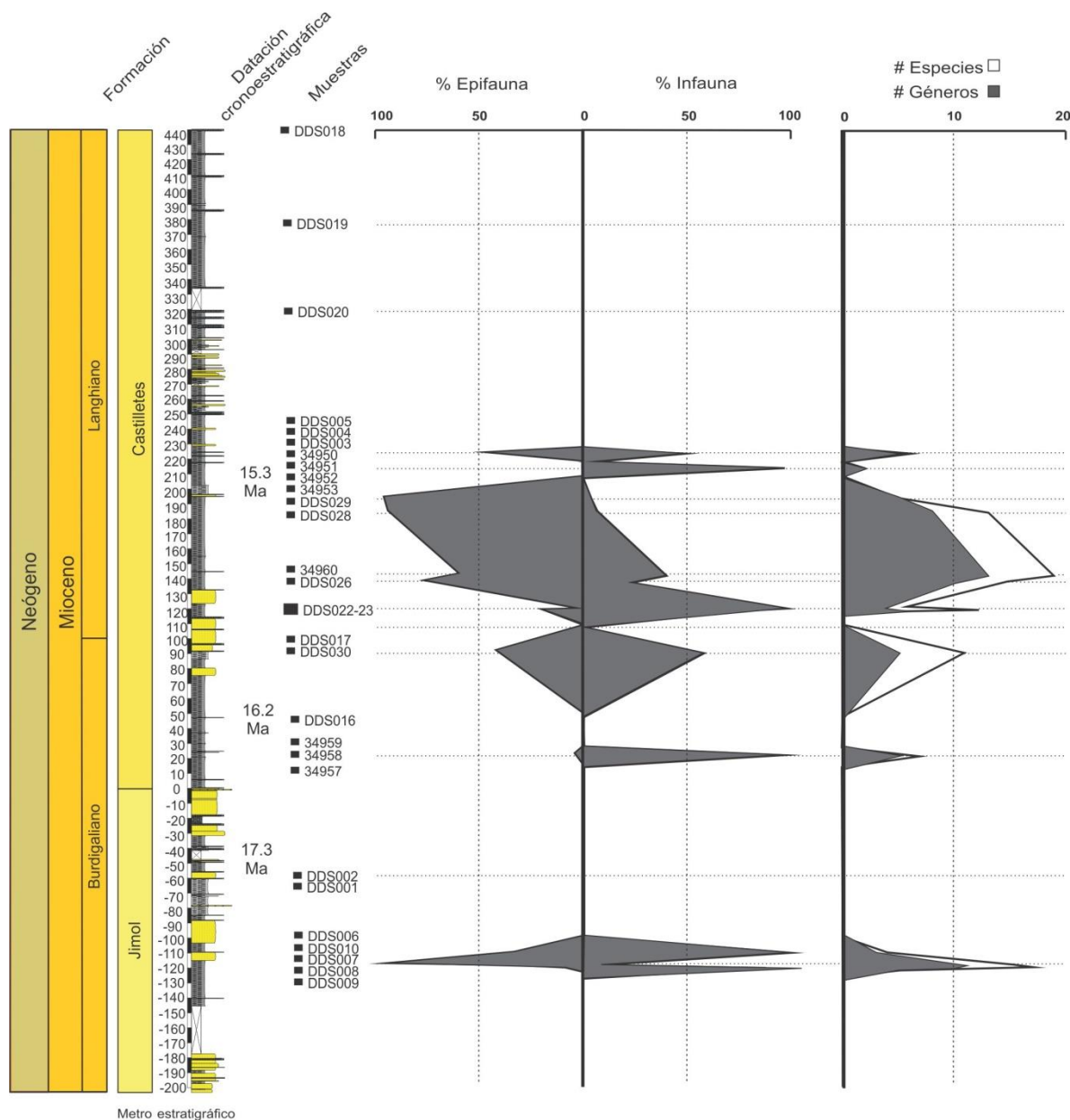


Figura 11. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes. **A.** Proporción de fauna infaunal y epifaunal en cada asociación. **B.** Número de especies y géneros descritos en cada asociación. Se muestran a la izquierda de la columna A las dataciones de cronoestratigrafía isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las Formaciones Jimol y Castilletes (Moreno et al., 2015).

Formación Castilletes

Intervalo 0m a 120 m (Fig. 5)

En la zona baja de la formación Castilletes se encontraron cuatro asociaciones **AmHz** y **Am** (34958, DDS030, DDS022 y DDS023, grupo 1) en los 22, 91, 119 y 120m intercaladas con 4 muestras estériles (34957, 34959, DDS016 y DDS017)

ubicadas en los 15, 29, 48 y 108 m. Debido a que las capas con recobro de foraminíferos en este rango estratigráfico presentaron diversidades bajas (Fig. 11, B), dominancia de fauna hialina >90% (Fig. 13) y ausencia de macroforaminíferos como *Amphistegina* y de fauna planctónica (Fig. 12), se ha asociado este rango a condiciones marinas marginales variables.

Con base en la cantidad de géneros presentes en cada muestra, a la dominancia del género *Ammonia* y al diámetro de las conchas encontradas en cada asociación se infieren condiciones de salinidad mas estables en los 91m de la Fm. Castilletes (muestra DDS030), posiblemente asociados a un leve aumento del nivel del mar (8,9% de fauna planctónica, 97,9 valor TAU, ver Tabla 8). Las demás muestras presentes en este intervalo (muestras 34958, DDS022 y DDS023) posiblemente representan ambientes marinos marginales con influencia de condiciones estuarinas (Fig. 9). En la Fig. 14, B se muestra como en este rango se mantienen condiciones de profundidad someras basadas en los valores TAU ubicados en un rango entre 0 y 97, 9, lo que sugiere profundidades <40 m.

Intervalo 120 a 142 m

En la zona baja alta de la Formación Castilletes se encontraron dos asociaciones **HZNmAm** ubicadas en los 138 y 142m (Grupo 3). Estas se caracterizan por un porcentaje cercano al 84% de formas de concha hialina (Fig. 13) y un aumento en la diversidad con respecto a la fauna encontrada en capas subyacentes (Fig.10, B). DDS026 presenta una población importante del género *Ammonia* con un tamaño promedio de concha significativamente más pequeño que el resto de las muestras, lo que unido al porcentaje alto de fauna planctónica (13%) apoya la relación entre *Ammonia* de concha pequeña y condiciones estables de salinidad (Bradshaw, 1961; Poag, 1978; Vénec-Plyré, 1983).

El porcentaje de formas infaunales que varía entre el 23% y 39% (Fig. 11, A) y el FoRAM Index cercano a 2 (Tabla 8) sugieren condiciones oligotróficas. Con base en esta evidencia y a valores de diversidad Alpha entre 7 y 5, se infiere para este rango estratigráfico condiciones de plataforma interna profunda en un principio bajo la influencia de aguas cálidas (predominancia del género *Globigerinoides*, Fig. 14, A), para luego experimentar aguas de temperaturas más bajas inferidas a partir de la predominancia de *Globigerina praebuloides* presente en la muestra 34960 (e.g. Chaproniere, 1992; Li y McGowran, 1994).

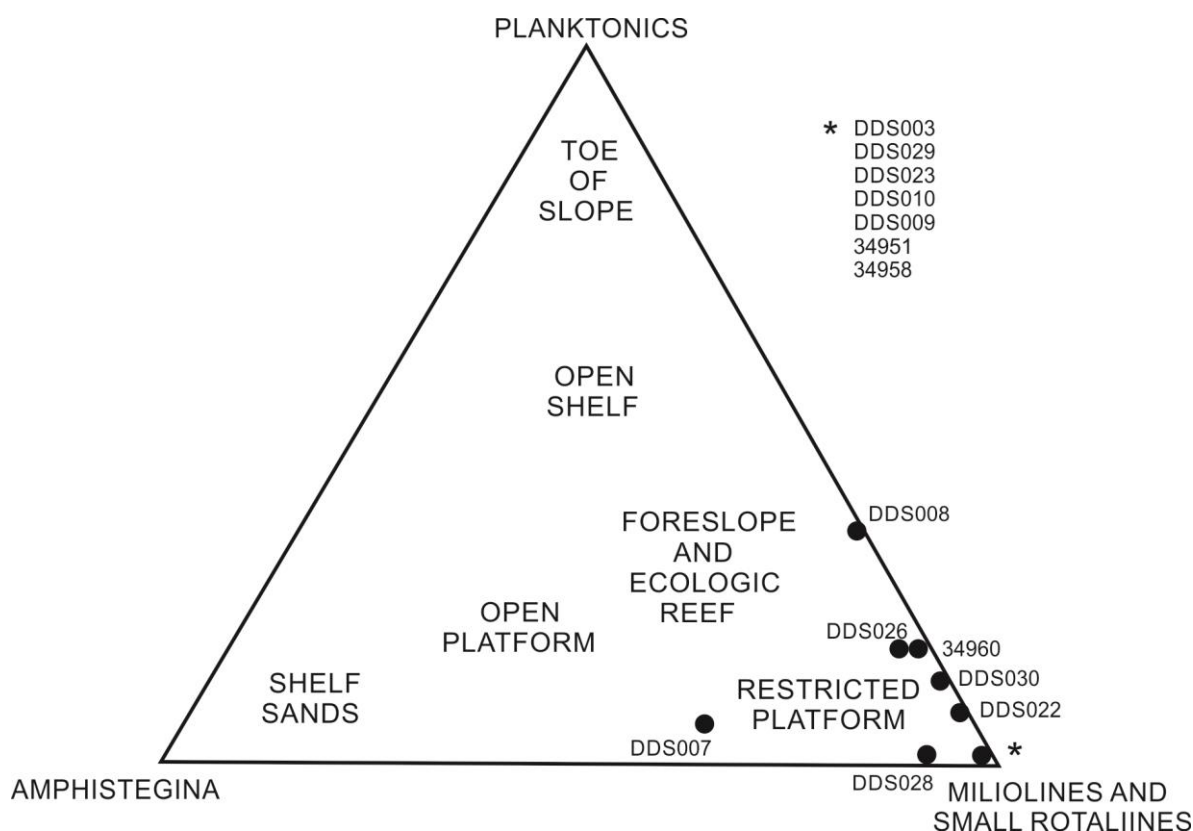


Figura 12. Representación de las asociaciones encontradas mediante un diagrama ternario según Hallock y Glenn (1986), en el cual se muestra a que tipo de ambiente se relaciona cada asociación con base en las proporciones de foraminíferos planctónicos, el género *Amphistegina* y miliolidos y rotalidos pequeños.

Intervalo 142 a 194 m

Ubicado en la zona media de la formación, en los 185m, se registra la presencia de una asociación **QH_z** (muestra DDS028, grupo 2). En esta se encontró una proporción de 26,5% de fauna de concha hialina y 73,4% de fauna porcelanacea asociada a un número alto de géneros (Fig. 11, B). El género *Amphistegina* se halló en una proporción del 3,3% (Fig. 12), lo cual unido a un 95% de fauna epifaunal característica de ambientes oligotróficos (Fig. 11, A), genera un valor de FoRAM Index de 2,2. Este valor está relacionado a condiciones concordantes con ambientes de arrecife coralino, lo que unido a una predominancia entre la fauna planctónica del género *Globigerinoides* puede representar condiciones de agua cálida (Hallock, 2012).

Por encima de la asociación **QH_z**, en los 194 m, se encontró una asociación **QT** (muestra DDS029, Grupo 5) con una fuerte dominancia de foraminíferos porcelanaceos de los géneros *Quinqueloculina* y *Triloculina* (Fig. 13). Aunque esta

fauna presenta una preservación deficiente, podría estar relacionada a ambientes de lagunas hipersalinas. Un ambiente de este tipo representaría una disminución de la profundidad del mar en esta zona de la Formación Castilletes apoyada por el porcentaje bajo de fauna planctónica (Murray, 2006).

Intervalo 194 a 224 m

En esta zona se encuentra un escenario similar al intervalo más basal de la Fm. Castilletes. Nuevamente se registra la presencia de asociaciones **Am** y **AmHz** dominadas por el género *Ammonia* (muestras 34951 y DDS003, grupo 1), las cuales se encuentran intercaladas con capas estériles. Esta zona de la Fm. Castilletes muestra nuevamente el establecimiento de condiciones marinas marginales asociadas a entornos estuarinos en la muestra 34951 y posteriormente condiciones de salinidad más estables asociadas a la DDS003, la cual presenta tamaños de concha más pequeños del género *Ammonia* (Fig. 9, Fig. 10, A).

Intervalo 224 a 440 m

En la zona superior de la Formación Castilletes solo fueron encontradas muestras estériles (muestras DDS004, 005, 020, 019 y 018) (Fig. 5). La ausencia de microfauna en esta zona de la formación coincide con los resultados obtenidos por Zapata (2010).

De esta manera se muestra como para las asociaciones **AmHz** y **Am** (grupo 1, Fig. 4) se infieren en general condiciones marinas marginales. Para las asociaciones **AgHzT** y **QH** (grupo 2) se infieren ambientes de plataforma interna de salinidad normal y condiciones oligotróficas. La asociación **HZNmAm** (grupo 3) es relacionada a entornos de plataforma interna profunda, mientras que el grupo 4 (asociación **NnQ**) es asociado a condiciones de plataforma media. Por último, para la asociación **QT** del grupo 5 se infieren circunstancias marinas marginales análogas a las que se presentan en ambientes de laguna hipersalina. En este trabajo no se encontró una relación clara entre el *Foraminiferal number* (foraminíferos/g) y la distancia con respecto a la costa según lo propuesto por Bandy y Arnal (1960)

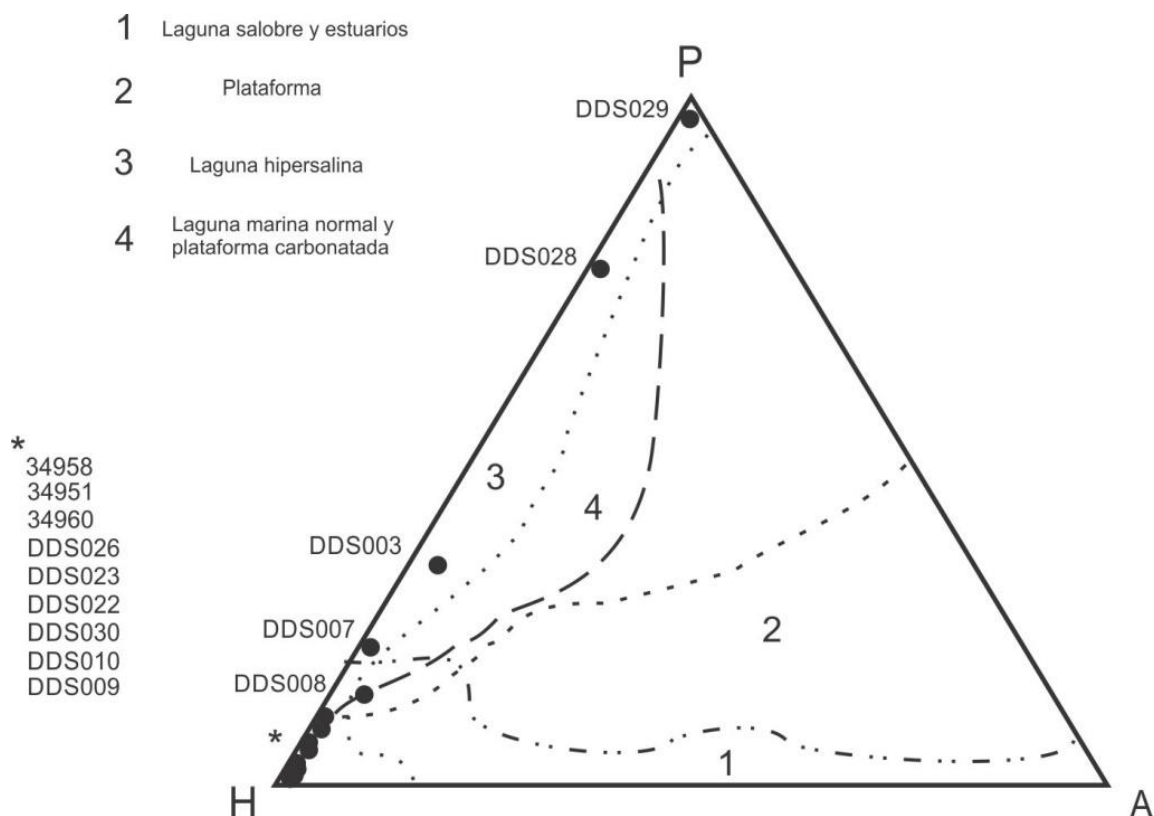


Figura 13. Representación de las asociaciones encontradas mediante un diagrama ternario según Murray (2006), en el cual se muestra a que tipo de ambiente se relaciona cada asociación con base en las proporciones de foraminíferos de conchas hialinas, porcelanaceas y aglutinantes.

Según la evidencia micropaleontológica analizada, las Formaciones Jimol y Castilletes evidencian condiciones paleoecológicas y paleobatimétricas cambiantes que concuerdan con los cambios estratigráficos y eustáticos frecuentes reportados por estudios recientes en estas unidades (Vargas et al., 2012; Moreno et al., 2015; Hendy et al., 2015). Para la Formación Jimol se infieren paleoambientes que van desde marinos marginales con influencia estuarina a ambientes de plataforma media en su desarrollo más marino. En el caso de la Formación Castilletes se infieren ambientes que van desde condiciones marinas marginales con influencia estuarina hasta ambientes de plataforma interna profunda.

Esta reconstrucción paleoambiental de las Formaciones Jimol y Castilletes muestra puntos en común, como también divergencias importantes con respecto a trabajos previos. Respecto a la Formación Jimol, Renz (1960) sugirió condiciones neríticas y litorales con presencia de los géneros *Heterostegina*, *Miogyopsina*, *Archaias* y *Amphistegina*, los cuales sugieren ambientes arrecifales como los

inferidos en este estudio para la zona media de la formación. Otros autores no imposibilitan esta inferencia paleoambiental al reconstruir ambientes marinos someros asociados a la plataforma interna (Rollins, 1965; Zapata, 2010; Moreno et al., 2015). Las muestras estériles en la parte superior de la Fm. Jimol podrían estar explicadas por la presencia de ambientes continentales de agua dulce, los cuales han sido sugeridos con base en fósiles de cocodrilos de la familia Alligatoridae (Moreno-Bernal, 2014). Los ambientes salobres relacionados a capas dominadas por *Ammonia* en la formación no habían sido descritos con anterioridad.

Las asociaciones que sugieren condiciones de plataforma en la zona media de la Fm. Jimol (Fig. 14, A, 30% de fauna planctónica) contrastan con las condiciones cercanas al frente de la playa inferidas por algunos trabajos anteriores (Renz, 1960; Rollins, 1965; Zapata, 2010). Reconstrucciones paleoambientales recientes, a partir de la malacofauna de la formación, sugieren también para la sección media un cambio de condiciones marinas someras a condiciones marinas profundas. A partir de esto se propuso que la unidad representa una secuencia regresiva-transgresiva-regresiva (Hendy et al., 2015).

Para la Formación Castilletes; Bürgl (1960) reporta capas de *Ammonia* (*Rotalia*) análogas a las encontradas en este estudio. Estas capas son así mismo asociadas a condiciones salobres y cercanas a la línea de costa. Otros autores infirieron también condiciones neríticas poco profundas (Renz, 1960; Rollins, 1965). Las condiciones marinas marginales con influencia de ambientes deltaicos sugeridas para la zona baja de Castilletes concuerdan con los vertebrados de ambientes continentales hallados en esta sección, los cuales consisten en tortugas de las familias Chelidae, Podocnemididae y Testudinidae (Cadena y Jaramillo, 2015) y cocodrilos de las familias Alligatoridae y Gavialidae (Moreno-Bernal, 2014)

El Intervalo 120 a 142 m ubicado en zona baja superior de la formación constituye una excepción a las condiciones proximales. En esta zona de la Fm. Castilletes se encontraron asociaciones **H₂NnAm** caracterizadas por presentar evidencia micropaleontológica de un aumento importante en el nivel del mar (Fig. 14, B Valor TAU asociado a profundidades >40 m). Análisis basados en moluscos apoyan esta ingresión marina ya que en esta zona se han encontrado taxa relacionados a condiciones de plataforma (Hendy et al., 2015).

La sección media a media superior de la Fm. Castilletes es interpretada como el resultado de ambientes de deltas progradacionales con desembocaduras de cauces y grandes reservorios de agua dulce (Zapata, 2010; Moreno et al. 2015). Las capas con *Ammonia* descritas aquí en dicha zona coinciden con dicha interpretación. Respecto a las muestras estériles encontradas en la parte superior

de la formación, Zapata (2010) sugiere un ambiente continental al tope de la unidad que explicaría la ausencia de microfauna. El hallazgo de tortugas de ambientes terrestres húmedos por parte de Cadena y Jaramillo (2015) (familias Podocnemididae y Testudinidae) se ajusta también a esta inferencia.

Tabla 8. Resumen de las asociaciones de foraminíferos encontrados en las Formación Jimol y Castilletes donde se incluyen las variables analizadas. Las sombras amarillas representan posibles condiciones aptas para el desarrollo arrecifal.

Muestra	Ubicación estratigráfica (m)	# Géneros	# Especies	Diversidad Alpha (planctónicos incluidos)	Dominancia	ForAM Index	Foraminiferal number f/g	Epifaunal	Infaunal	Condiciones troficas	Género planctónico dominante	% Planctónicos	Tau value	Profundidad inferida	Morfología Ammonia	Asociación	Inferencia paleoambiental
DDS003	224	5	7	1,71	0,35	1,475	18	47,5%	52,5%	Eutrófico		0,0%	0,0	<40 m	Diametro pequeño	AmHz	Marino marginal
34951	214	2	2	0,29	0,99	1,003	29	0,3%	99,7%	Eutrófico		0,0%	0,0	<40 m		Am	Marino marginal
DDS029	194	5	5	1,11	0,71	1,969	42	97,0%	3,0%	Oligotrófico		0,0%	0,0	<40 m		QT	Laguna hipersalina
DDS028	185	8	13	3,32	0,24	2,211	74	95,0%	5,1%	Oligotrófico	Globigerinoides	0,9%	11,7	<40 m		QHz	Plataforma carbonatada
34960	142	13	19	7,24	0,18	1,928	40	60,4%	39,7%	Oligotrófico	Globigerina	13,7%	260,3	>40 m		HzNnAm	Plataforma interna profunda
DDS026	138	10	15	5,08	0,34	1,932	26	77,0%	23,0%	Oligotrófico	Globigerinoides	13,8%	207,0	>40 m	Diametro pequeño	HzNnAm	Plataforma interna profunda
DDS023	120	4	6	1,09	0,80	1,018	302	1,8%	98,2%	Eutrófico		0,0%	0,0	<40 m		Am	Marino marginal
DDS022	119	6	13	4,20	0,28	1,269	38	20,8%	79,3%	Eutrófico	Globigerinoides	2,4%	31,2	<40 m		AmHz	Marino marginal
DDS030	91	5	11	3,88	0,38	1,468	18	42,8%	57,2%	Eutrófico	Globigerina	8,9%	97,9	<40 m	Diametro pequeño	AmHz	Marino marginal
34958	22	5	7	1,77	0,81	1,088	26	3,5%	96,5%	Eutrófico	Globigerina	0,6%	4,2	<40 m		Am	Marino marginal
DDS010	-110	3	4	0,65	0,66	1,003	4	0,3%	99,7%	Eutrófico		0,0%	0,0	<40 m		Am	Marino marginal
DDS007	-118	13	16	5,07	0,23	4,816	106	94,8%	5,2%	Oligotrófico	Globigerinoides	2,7%	43,2	<40 m		AgHzT	Plataforma carbonatada
DDS008	-119	11	17	7,28	0,19	1,985	38	34,2%	65,9%	Eutrófico	Globigerina	30,3%	515,1	>40 m		NnQ	Plataforma media
DDS009	-120	5	5	0,86	0,95	1,051	40	2,7%	97,3%	Eutrófico		0,0%	0,0	<40 m		Am	Marino marginal

Desde una perspectiva más general, las capas con dominio fuerte del genero *Ammonia*, halladas desde la zona media de la Fm. Jimol hasta la zona media de la Fm. Castilletes, apoyan la presencia de cuerpos de agua dulce permanentes (e.g. lagunas, ríos) propuestas en trabajos previos (Moreno et al., 2015). Las muestras dominadas en más de un 70% por esta especie de condiciones eurihalinas indican ambientes con influencia de aguas dulces. Desde la perspectiva paleoclimática esto podría sugerir, en concordancia con la fauna de vertebrados que se ha encontrado, que en la Cuenca de Cocinetas durante el Mioceno temprano y medio se dieron periodos con condiciones deltaicas y húmedas que contrastan con las circunstancias áridas actuales.

Por último, se reportan cantidades importantes de la especie planctónica *G. praebulloides*, tanto en la zona media de Jimol como en la zona baja superior de Castilletes, que podrían indicar una relación a eventos de surgencia oceánica durante el Mioceno temprano-medio. Esto coincide con reportes de concentraciones importantes de fosfatos en la Fm. Castilletes (Hall y Cediell, 1971) y en el Mar Caribe en general (Riggs, 1987; Edinger y Risk, 1994). Estas circunstancias indicarían que las condiciones actuales de surgencia al sur del Mar Caribe (Andrade y Barton, 2005) existieron también durante el Neógeno temprano.

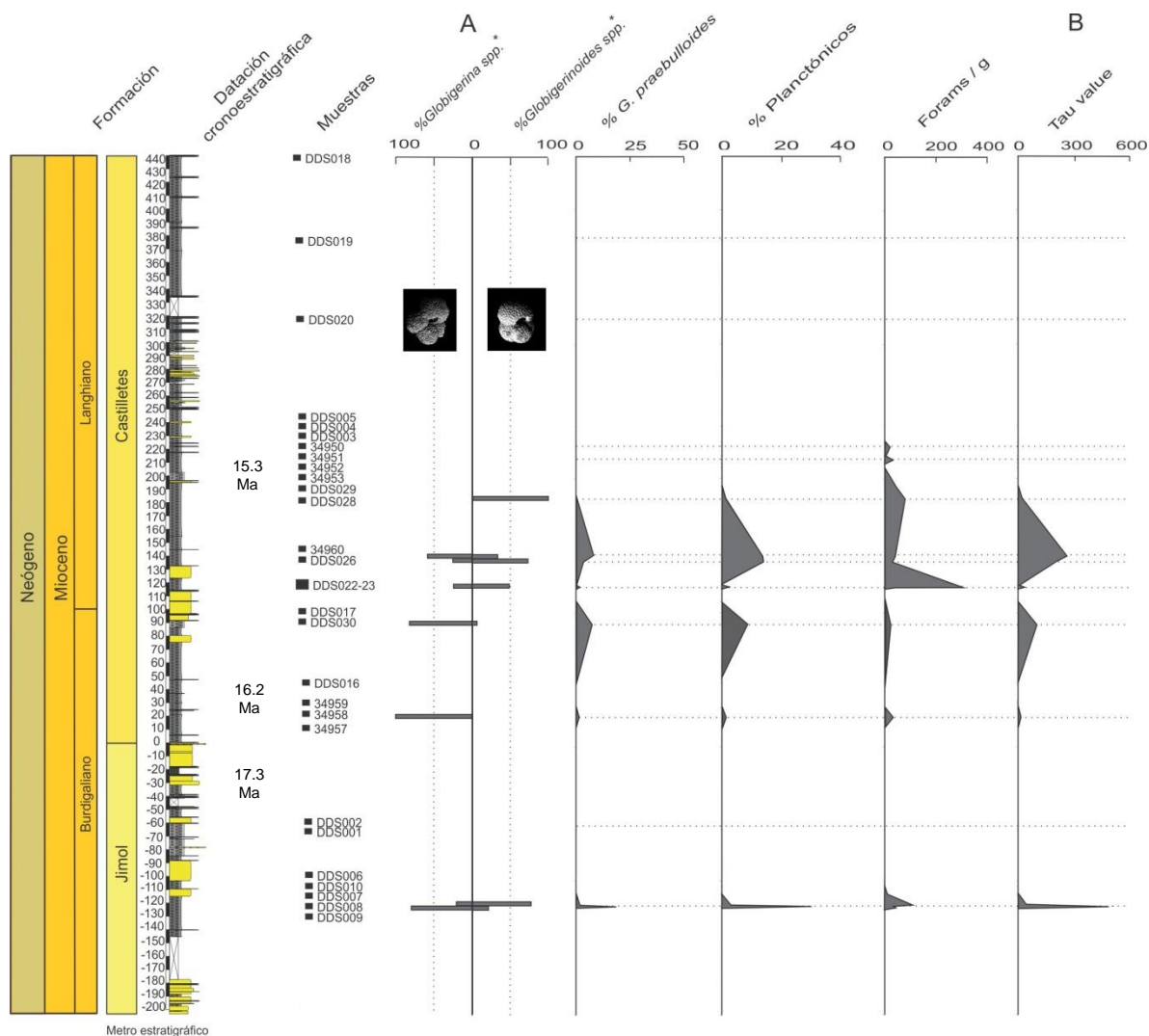


Figura 14. Distribución estratigráfica de la microfauna planctónica encontrada en las Formaciones Jimol y Castilletes. **A.** Se muestra la proporción entre los foraminíferos planctónicos de los géneros *Globigerina* y *Globigerinoides*, el porcentaje de la especie planctónica *G. praebulloides* encontrada de forma más común en el estudio, el porcentaje de fauna planctónica, la cantidad de foraminíferos por gramo (*Foraminiferal number*). **B.** valor TAU (modificado de Moreno et al., 2015).

4.6. Comparación con formaciones coetáneas al oriente del Golfo de Venezuela

Se ha propuesto que las Formaciones Agua Clara Superior, Cerro Pelado Inferior y Cantaure son correlacionables con la Formación Jimol (Moreno et al., 2015) (Tabla 9). La Formación Agua Clara superior está ubicada en la Cuenca de Falcón (Fig. 15) y ha sido asociada a ambientes marinos someros (Wheeler, 1966; Quiroz y Jaramillo, 2010). Otros autores también infieren ambientes marinos que pasan hacia la zona superior de la unidad a un ambiente de prodelta dominado por foraminíferos de concha arenácea (Díaz de Gamero, 1989). La Formación Agua Clara Superior, además de correlacionarse con la Formación Jimol de la Cuenca de Cocinetas, se correlaciona con la Formación La Rosa de la Cuenca de Maracaibo (Díaz de Gamero, 1989; Guzmán y Fisher, 2006) (Fig. 15).

En la Fm. La Rosa se ha encontrado evidencia de superficies importantes de inundación que habrían llegado a profundidades neríticas medias (20-100m de profundidad) (Guzmán y Fisher, 2006) similares a la encontrada en la Fm. Jimol (muestra DDS008, Fig. 14, A, 30% fauna planctónica). En estudios en los que se propone una conexión marina entre el norte de Venezuela y la Amazonía durante el Mioceno (Boonstra et al., 2015) se sugiere una fase de incursión marina importante durante la biozona de polen T13 (*Echitricolporites maristellae*) de la parte superior Mioceno Temprano según biozonaciones palinológicas propuestas para los Llanos orientales de Colombia (Jaramillo et al., 2011). La edad de esta biozona coincide con la datación propuesta para las Formaciones La Rosa y Jimol.

Tabla 9. Unidades correlacionadas a la Formación Jimol. Se muestran las microfaunas planctónicas y bentónicas predominantes además de la interpretación paleoambiental realizada en estudios previos.

Formación	Jimol	Agua Clara Superior	Cerro Pelado Inferior	Cantaure
Paleoambiente	Marino somero plataforma interna	Marino somero y frente deltaico	Marino somero y frente deltaico	Plataforma
Microfauna bentónica	<i>Ammonia</i> , <i>Nonionella</i> , <i>Hanzawaia</i> , <i>Lenticulina</i> , <i>Amphistegina</i> , <i>Quinqueloculina</i> , <i>Triloculina</i>	Microfauna arenácea	<i>Ammobaculites</i>	<i>Ammonia</i> , <i>Hanzawaia</i> , <i>Quinqueloculina</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Massilina</i> , <i>Spiroloculina</i> , <i>Textularia</i> , <i>Bolivina</i>
Microfauna planctónica	<i>Globigerina</i> , <i>Globoturborotalita</i>	Escasos	Escasos	<i>Globigerina</i> , <i>Globigerinoides</i> , <i>Globigerinatella</i>

La Formación Castilletes ha sido correlacionada con las Formaciones Cerro Pelado Superior y Querales de la Cuenca de Falcón y con la Formación Cantaure de la Península de Paraguaná (Moreno et al., 2015) (Tabla 10). La Formación

Cerro Pelado ha sido asociada a ambientes que van de delta progradante a llanuras deltaicas (Wheeler, 1966; Díaz de Gamero, 1989; Quiroz y Jaramillo, 2010). Se ha propuesto una relación entre estos ambientes de depositación deltaicos y la desembocadura del Proto-Orinoco durante el Mioceno Temprano (Díaz de Gamero, 1996) aunque este aspecto de la paleogeografía de norte de Venezuela aún está en discusión (Guzmán y Fisher, 2006; Johnson et al., 2009). Los ambientes marinos marginales inferidos para la Fm. Cerro Pelado son similares a los que se encuentran en la parte inferior de la Fm. Castilletes, los cuales se caracterizan por asociaciones de foraminíferos bentónicos en las que el género *Ammonia* es dominante (Fig. 5, entre 20 y 120 m de la Fm. Castilletes).

Tabla 10. Unidades correlacionadas a la Formación Castilletes. Se muestran las microfaunas planctónicas y bentónicas predominantes además de la interpretación paleoambiental realizada en estudios previos.

Formación	Castilletes	Cerro Pelado Superior	Querales	Cantaure
Paleoambiente	Marino marginal	Marino marginal y frente deltaico	Plataforma	Plataforma
Microfauna bentónica	<i>Ammonia</i> , <i>Nonionella</i> , <i>Hanzawaia</i> , <i>Quinqueloculina</i>	<i>Ammobaculites</i>	Foraminíferos arenáceos y diversas especies calcáreas.	<i>Ammonia</i> , <i>Hanzawaia</i> , <i>Quinqueloculina</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Massilina</i> , <i>Spiroloculina</i> , <i>Textularia</i> , <i>Bolivina</i>
Microfauna planctónica	<i>Globigerina</i> , <i>Globigerinoides</i>	Escasos	<i>Globigerina</i> , <i>Globigerinoides</i> , <i>Praeorbulina</i> , <i>Globorotalia</i> , <i>Orbulina</i> , <i>Globoquadrina</i>	<i>Globigerina</i> , <i>Globigerinoides</i> , <i>Globigerinatella</i>

La Formación Querales está ubicada estratigráficamente por encima de la Formación Cerro Pelado (Fig. 15) y ha sido relacionada a condiciones ambientales que van desde plataforma media a prodelta (Wheeler, 1966; Díaz de Gamero, 1989; Quiroz y Jaramillo, 2010). En el límite entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio en la Fm. Querales ha sido descrito un evento transgresivo que generó un cambio ambiental importante de condiciones proximales a condiciones marinas en la Cuenca de Falcón (Díaz de Gamero et al., 1988; Quiroz y Jaramillo, 2010). La Formación Castilletes presenta una invasión marina análoga cercana al mismo periodo de tiempo (límite entre el Burdigaliano y el Langhiano; muestras DDS026 y 34960, Fig. 14, A, 13% fauna planctónica). En estudios en que se sugieren incursiones marinas desde el norte de Suramérica hacia la Amazonía (Boonstra et al., 2015) se sugieren 2 aumentos importantes del nivel del mar en las biozonas palinológicas T14 (*Grimsdalea magnaclavata*) y T15 (*Crassoretitritiles vanraadshooveni*) (Jaramillo et al., 2011) correspondientes al rango de tiempo que ocupan las Formaciones Querales y Castilletes (Mioceno Temprano tardío-Mioceno Medio temprano).

La Formación Cantaure ha sido asociada a condiciones de plataforma gracias a la presencia de fauna planctónica predominante (Díaz de Gamero, 1974; Rey, 1996).

Otros autores infieren condiciones similares asociadas a la zona sublitoral interna con aguas de salinidad normal (Hunter y Bartok, 1974). En esta unidad se ha encontrado evidencia de tiburones gigantes, sirénidos y cetáceos que sugieren la existencia de cadenas tróficas desarrolladas y complejas en la zona de la moderna Península de Paraguaná durante el Mioceno Temprano. Este antiguo ecosistema ha sido asociado a la presencia cercana de zonas de surgencia oceánica (Aguilera y de Aguilera, 2004), las cuales también se pudieron presentar en las Formaciones Jimol y Castilletes con base en la presencia de fauna planctónica de agua fría y la depositación de fosfatos en la Cuenca de Cocinetas en este mismo periodo de tiempo (Hall y Cediell, 1971).

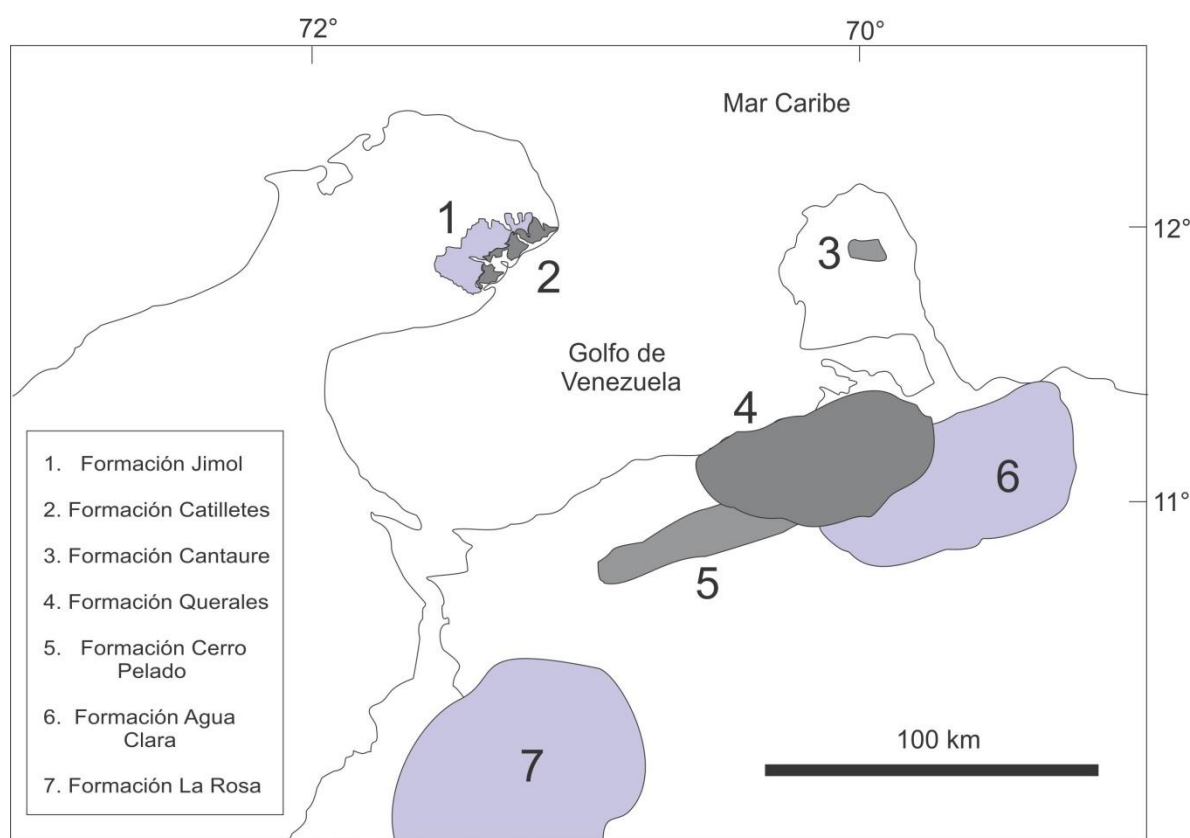


Figura 15. Ubicación aproximada de las formaciones en las Cuencas de Maracaibo, de Falcón y de la Península de Paraguaná que se correlacionan con las Formaciones Jimol y Castilletes. En gris claro se representan las unidades correlacionables con la Formación Jimol mientras que en gris oscuro se representan las que se correlacionan con la Formación Castilletes. Las Formaciones Cerro Pelado y Cantaure, que se correlacionan con ambas formaciones, se representan en un color intermedio (modificado de <http://www.pdvsa.com/lexico/index.html>).

5. Conclusiones

Se describen 28 especies de foraminíferos que no habían sido anteriormente descritas asociadas a la Formación Jimol. Para la Formación Castilletes 37 especies constituyen nuevos reportes. La consideración de estos taxa mejora el conocimiento micropaleontológico de estas unidades y aporta a la interpretación paleobatimétrica y paleoambiental de la historia geológica de la Cuenca de Cocinetas en la alta Guajira.

En este análisis de la microfauna planctónica de las Formaciones Castilletes y Jimol se llega a inferir una edad Mioceno Temprano a Mioceno Medio temprano con base en las especies *Paragloborotalia mayeri*, *Globigerinoides altiapertura* y *Globigerinoides subquadratus* la cual concuerda con dataciones realizadas a partir de cronoestratigrafía isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que datan las formaciones entre el Burdigalino y el Langhiano (Moreno et al., 2015).

En el análisis comparativo entre localidades modernas y las asociaciones fósiles encontradas en las Formaciones Jimol y Castilletes, se pudo evidenciar similitudes entre las localidades de plataforma y las muestras caracterizadas por presencia de diversidades altas, mayores proporciones de fauna planctónica y presencia de importantes géneros como *Nonionella*. Las localidades marinas marginales modernas coincidieron con asociaciones fósiles que presentaban amplias dominancias de *Ammonia*, bajos porcentajes planctónicos y baja diversidad.

Respecto al análisis morfológico del género *Ammonia* como metodología para inferir condiciones batimétricas y de salinidad, se encontraron tamaños de concha significativamente más pequeños en muestras que presentaban evidencia de mayor distancia con respecto a la costa. Estas muestras presentaron diversidades mayores y menor dominancia de *Ammonia*. Las muestras que no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al tamaño de concha de poblaciones modernas de *Ammonia* de ambientes estuarinos estuvieron generalmente dominados por el género en porcentajes > 80% y presentaron valores muy bajos de % de fauna planctónica. Estos resultados apoyan la premisa bajo la cual se esperan diámetros mayores en los individuos de *Ammonia* de condiciones someras y de influencia fluvial, a la vez que se muestra como esta variable es relevante y útil para inferencias paleoambientales. A futuro, para estudiar a mayor profundidad la relación entre la morfología de este taxón y la distancia con respecto a la costa, podría ser relevante realizar análisis estadísticos en los que se incluya un tamaño muestral mayor.

Los resultados obtenidos a partir de las estrategias de interpretación usadas de manera conjunta muestran en la Formación Jimol condiciones marinas marginales

que pasan a condiciones de plataforma media y con posible influencia de surgencia oceánica, posteriormente desarrollando condiciones potencialmente benéficas para el desarrollo de arrecifes para luego volver a condiciones marinas someras en la parte media de la unidad. En la parte superior de la unidad solo fueron encontradas muestras estériles. En la parte baja de la Formación Castilletes se evidencian condiciones que varían entre continentales y marinas marginales que en la parte baja superior de la unidad habrían pasado a ambientes de plataforma interna profunda. Por último en la parte media de la Fm. Castilletes se interpretan condiciones marinas marginales. En la parte superior de la unidad tampoco fueron encontradas muestras con recobro de microfauna.

Desde la perspectiva paleoclimática, los ambientes deltaicos sugeridos a partir de las capas con dominancia del genero bentónico *Ammonia* concuerdan con una interpretación de condiciones más húmedas en la Cuenca de Cocinetas Durante el Mioceno temprano-medio. Paralelamente, la proporción amplia de la especie *Globigerina praebulloides* en algunas muestras con presencia de fauna planctónica, sugiere que durante el Neógeno temprano se presentaban condiciones de surgencia oceánica análogas a las actuales.

En una comparación realizada con formaciones ubicadas al oriente del Golfo de Venezuela se encuentran incursiones marinas similares a las encontradas en las Formaciones Jimol y en Castilletes (magnitud menor) en las Formaciones La Rosa de la Cuenca de Maracaibo y Querales de la Cuenca de Falcón. La evidencia de aumento de nivel del mar en estas formaciones coetáneas puede estar mostrando que estos eventos pudieron tener carácter regional.

6. Referencias

Abdulsamad, E.O., y Barbieri, R., 1999. Foraminiferal distribution and palaeoecological interpretation of the Eocene–Miocene carbonates at Al Jabal al Akhdar (northeast Libya). *Journal of Micropalaeontology*, 18(1), 45-65.

Adrain, J.M., Westrop, S.R., Chatterton D.E. 2000. Silurian trilobite alpha diversity and the end-Ordovician mass extinction. *Paleobiology* 26:625-646.

Aguilera, O. y de Aguilera, D.R., 2004. Giant-toothed white sharks and wide-toothed mako (Lamnidae) from the Venezuela Neogene: their role in the Caribbean, shallow-water fish assemblage. *Caribbean Journal of Science*, 40(3), 368-382.

Aguilera, O., Lundberg, J., Birindelli, J., Pérez, M. S., Jaramillo, C., Sánchez-Villagra, M. R., 2013. Palaeontological Evidence for the Last Temporal Occurrence of the Ancient Western Amazonian River Outflow into the Caribbean. *PloS one*, 8(9), e76202.

Andersen, H.V., 1952. *Buccella*, a new genus of the rotalid foraminifera. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 42(5), 143-151.

Andrade, C.A., y Barton. E.D., 2005. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25(9), 1003-1022.

Armstrong, H. y Brasier, M.D., 2005. *Microfossils*, second ed.; Blackwell Publishing: Cambridge, MA. 296 p.

Bacon, C.D., Silvestro, D., Jaramillo, C., Smith, B.T., Chakrabarty, P., Antonelli, A. 2015. Biological evidence supports an early and complex emergence of the Isthmus of Panama. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 6110-6115.

Bandy, O.L., 1950. Some later Cenozoic foraminifera from Cape Blanco, Oregon. *Journal of Paleontology*, 269-281.

Bandy, O.L., y Arnal, R.E., 1960. Concepts of foraminiferal paleoecology. *AAPG Bulletin*, 44(12), 1921-1932.

Bermúdez, P.J., 1949. Tertiary smaller Foraminifera of the Dominican Republic: Cushman Lab. *Foram. Research, Spec. Pub.* 25, 322 p.

Bolli, H.M., y Saunders, J.B., 1985. *Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera*. *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press, Cambridge. 1, 155-262.

Bolli, H.M., Beckmann, J.P., Saunders, J.B., 1994. Benthic Foraminiferal Biostratigraphy of the south Caribbean region, Cambridge University Press, Cambridge. 408 p.

Boltovskoy, E., Scott, D.B., Medioli, F.S., 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal tests in response to changes in ecological parameters: a review. *Journal of Paleontology*. Vol. 65, pp. 175-185.

Böhme, M. 2003. The Miocene climatic optimum: evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195(3), 389-401.

Boonstra, M., Ramos, M.I.F., Lammertsma, E.I., Antoine, P.O., Hoorn, C., 2015. Marine connections of Amazonia: evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 417, 176-194.

Bradshaw, J.S. 1961. Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 12(3), 87-106.

Bürgl, H., 1960. Geología de la Península de la Guajira. *Bol. Geol., Servo Geol. Nac. Rep. Colombia* 6: 129-68.

Cadena, E. y Jaramillo, C. 2014. Early to middle Miocene turtles from the northernmost tip of South America: Giant testudinids, chelids and podocnemidids from the Castilletes Formation, Colombia---Preprint doi: 10.5710/AMGH. 10.11. 2014.2835. *Ameghiniana*.

Chaisson, W.P. y d'Hondt, S.L., 2000. Neogene planktonic foraminifer biostratigraphy at Site 999, western Caribbean Sea. In *Proc. ODP, Sci. Results* Vol. 165, pp. 19-56.

Chang, Y.M., Kaesler, R.L., 1974. Morphological variation of the foraminifer *Ammonia beccarii* (Linné) from the Atlantic coast of the United States. *Univ. Kansas Paleontol. Contrib.* 69, 1-22.

Chaproniere, G.C., 1992. The distribution and development of Late Oligocene and Early Miocene reticulate globigerines in Australia. *Marine Micropaleontology*, 18(4), 279-305.

Cicha, I., Rögl, F., Rupp, C., Ctyroká, J., 1998. Oligocene–Miocene foraminifera of the Central Paratethys. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 549, 1–325.

Cimerman, F., y Langer, M.R., 1991. *Mediterranean foraminifera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti. 199 p.

Cole, W.S., 1931. The Pliocene and Pleistocene Foraminifera of Florida. *Florida Geol. Survey Bull*, 6, 79.

Cushman, J.A., y Ponton, G.M., 1932. The foraminifera of the upper, middle and part of the lower Miocene of Florida. *Bull. Florida State Geol. Surv.*, 9:7-147.

Cushman, J.A. 1933. An illustrated key to the genera of foraminifera. Cushman laboratory for foraminiferal research. Special publication, no 5. Sharon, Massachusetts. 253 p.

Cushman, J. A., y MacGlamery, W., 1938. *Oligocene Foraminifera from Choctaw Bluff, Alabama*. US Government Printing Office. 119 p.

Cushman, J.A. 1939. A monograph of the foraminiferal family Nonionidae (No. 191). US Government Printing Office. 101 p.

Cushman, J.A., y Stainforth, R.M.S., 1945. The foraminifera of the Cipero Marl Formation of Trinidad, British West Indies. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research. Special Publication. 14, 75 pp.

Cushman, J.A., y Todd, R., 1945. Miocene foraminifera from Buff Bay, Jamaica. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, Special Publication, 15:1-73.

Díaz de Gamero, M.L., 1974. Microfauna y edad de la Formación Cantaure, península de Paraguaná, Venezuela. *Asoc. Venez. Geol. Min. Petr., Bol. Informativo*, 17(4-5-6):41-47.

Díaz de Gamero, M.L., 1977. Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno inferior del centro de la Cuenca de Falcón, Venezuela. *Geos*, 22, 2-54.

Díaz de Gamero, M.L., 1985. Micropaleontología de la Formación Agua Salada, Falcón nororiental. *Mem. VI. Cong. Geol. Venez.*, 1, 384- 453.

Díaz de Gamero, M.L., 1989. El Mioceno temprano y medio de Falcón septentrional. *GEOS*, 29: 25-35.

Díaz de Gamero, M.L., 1996. The changing course of the Orinoco River during the Neogene: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123(1), 385-402.

Díaz de Gamero, M.L., Mitacchione, V., Ruíz, M., 1988. La Formación Querales en su área tipo, Falcón noroccidental, Venezuela, Soc. Venez. Geol., Bol., 34: 34-46.

Duque-Caro, H. 1990. Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77(3), 203-234.

Edinger, E.N., y Risk, M. J., 1994. Oligocene-Miocene extinction and geographic restriction of Caribbean corals: roles of turbidity, temperature, and nutrients. *Palaios*, 576-598.

Emery, D., y Myers, K. (Eds.), 1996. Sequence stratigraphy, Oxford: Blackwell Science 297 pp.

Fatela, F., y Taborda, R., 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45, 169–174.

Fiorini, F., y Jaramillo, C., 2007. Paleoenvironmental reconstruction of the Oligocene-Miocene deposits of southern Caribbean (Carmen de Bolívar, Colombia) based in benthic foraminifera. *Boletín de Geología*, 29(2).

Gibson, T.G., 1988. Assemblage characteristics of modern benthic foraminifera and application to environmental interpretation of Cenozoic deposits of eastern North America. *Rev. Paleobiol., col. spec*, 2, 777-787.

Goldstein, S.T., y Alve, E., 2011. Experimental assembly of foraminiferal communities from coastal propagule banks. *Marine Ecology Progress Series*, 437, 1-11.

Guzmán, J.I., y Fisher, W.L., 2006. Early and middle Miocene depositional history of the Maracaibo Basin, western Venezuela. *AAPG bulletin*, 90(4), 625-655.

Hall, M., y Cediell, F., 1971. Los sedimentos marinos terciarios y recientes de la Península de la Guajira y su posible significado económico. *Geología colombiana*, 8, 63-77.

Hallock, P., y Glenn, E. C., 1986. Larger foraminifera: a tool for paleoenvironmental analysis of Cenozoic carbonate depositional facies. *Palaios* 1, 55-64.

Hallock, P., Lidz, B.H., Cockey-Burkhard, E.M., Donnelly, K.B., 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM index. In Coastal Monitoring through Partnerships, 81, 221-238.

Hallock, P., 2012. The FoRAM Index revisited: uses, challenges, and limitations. In Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9-13 July 2012.

Hayward, B.W., Grenfell, H.G., Reid, C.M., Hayward, K.A., 1999. Recent New Zealand shallow-water benthic foraminifera: taxonomy, ecologic distribution, biogeography, and use in paleoenvironmental assessment. Institute of Geological and Nuclear Sciences Monographs 21. New Zealand Geol. Surv. Paleontol. Bull., vol. 75. 258 pp.

Hayward, B.W., Carter, R., Grenfell, H.R., Hayward, J.J. 2001. Depth distribution of Recent deep-sea benthic foraminifera east of New Zealand, and their potential for improving paleobathymetric assessments of Neogene microfaunas. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 44(4), 555-587.

Hayward, B.W., Holzmann, M., Grenfell, H.R., Pawlowski, J., Triggs, C.M., 2004. Morphological distinction of molecular types in *Ammonia* towards a taxonomic revision of the world's most commonly misidentified foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 50(3), 237-271.

Hendy, A.J.W., Jones, D.S., Moreno, F., Zapata, V., Jaramillo, C. 2015. Neogene molluscs, shallow-marine paleoenvironments, and chronostratigraphy of the Guajira Peninsula, Colombia. *Swiss Journal of Paleontology*, 134.

Hofker, J., 1971. The foraminiferal of Piscadera Bay, Curacao. Studies on the fauna of Curacao and other Caribbean Islands. No. 127. 57 p.

Holbourn, A., Kuhnt, W., Schulz, M., Flores, J. A., Andersen, N., 2007. Orbitally-paced climate evolution during the middle Miocene "Monterey" carbon-isotope excursion. *Earth and Planetary Science Letters*, 261(3), 534-550.

Holbourn, A., Kuhnt, W., Lyle, M., Schneider, L., Romero, O., Andersen, N. 2014. Middle Miocene climate cooling linked to intensification of eastern equatorial Pacific upwelling. *Geology*, 42(1), 19-22.

Hunter, V.F. y P. Bartok., 1974. The age and correlation of the Tertiary sediments of the Paraguaná Península, Venezuela. *Asoc. Venez. Geol. Min. Petr., Bol. Informativo*, 17(7-8-9): 143-154.

Jaramillo, C. A., Rueda, M., Torres, V., 2011. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. *Palynology*, 35(1), 46-84.

Javaux, E.J., y Scott, D.B., 2003. Illustration of modern benthic foraminifera from Bermuda and remarks on distribution in other subtropical/tropical areas. *Palaeontología Electronica*, 6(4), 29.

Johnson, K.G., Sánchez-Villagra, M.R., Aguilera, O.A., 2009. The Oligocene–Miocene transition on coral reefs in the Falcón Basin (NW Venezuela). *Palaios*, 24(1), 59-69.

Jorissen, F.J., de Stigter, H.C. and Widmark J.G.V.1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology* 26, 3–15.

Kennett, J.P. y Srinivasan, M.S., 1983. Neogene planktonic foraminifera. Hutchinson Ross Publ. Comp., Stroudsburg. 265 p.

Krebs, C.J., 1989 Ecological methodology. New York: Harper y Row. 607 p.

Laccarino, S.M., y Premoli Silva, I., 2007, Practical manual of Neogene planktonic foraminifera, in Biolzi, M., laccarino, S.M., Turco, E., Checconi, A., Rettori, R., eds., International School on Planktonic Foraminifera VI course: Neogene, Peruggia, Italy, 181 p.

Li, Q. y McGowran, B., 1994. Miocene upwelling events: Neritic foraminiferal evidence from southern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 41(6), 593-603.

Loeblich, A.R. y Tappan, H., 1988. Foraminiferal Genera and their Classification. Vols. 1–2. Van Nostrand Reinhold, New York. 970 p.

Malmgren, B.A., 1984. Analysis of the environmental influence on the morphology of *Ammonia beccarii* (Linné) in southern European salinas. *Geobios*, 17(6), 737-746.

McCulloch, I., 1981. Qualitative observations on Recent foraminiferal tests. Part IV, with emphasis on the Allan Hancock Atlantic Expedition collections. Univ. Southern California Centennial Celebration 1980-1981, Spec. Pub. 1-362.

Mogollón, J.V., 2013. El Canal del Dique, Historia de un desastre ambiental. Bogotá. El Áncora editores, 197 pp.

Molina, E. (Ed), 2000. Micropaleontología. Prensas Universitarias. Zaragoza. 634 p.

Molinares, C.E., 2007. Reconstrucción paleoambiental y asociaciones de foraminíferos de la formación Tubará (plioceno temprano), sección Arroyo Piedras (norte de Colombia). Universidad EAFIT, 44 p.

Montes, C., Cardona, A., Jaramillo, C., Pardo, A., Silva, J. C., Valencia, V., Ayala, C., Perez-Angel, L.C., Rodriguez-Parra, L.A., Ramirez, V., Niño, H. 2015. Middle Miocene closure of the Central American Seaway. *Science*, 348(6231), 226-229.

Moreno-Bernal, J.W., 2014. Fossil crocodilians from the high Guajira Peninsula of Colombia, and the history of Neogene crocodilian diversity in tropical South America. Dissertation, University of Nebraska. Dissertations & Theses in Earth and Atmospheric Sciences. Paper 49, 66 p.

Moreno, J.F., Hendy, A.J.W., Quiroz, L., Hoyos, N., Jones, D. S., Zapata, V., Zapata, S., Ballen, G. A., Cadena, E., Cárdenas, A.L., Carrillo Briceño, J.D., Carrillo, J. D., Delgado-Sierra, D., Escobar, J., Martínez, J.I., Martínez, C., Montes, C., Moreno, J., Pérez, N., Sánchez, R., Suárez, C., Vallejo Pareja, M.C., and Jaramillo, C. (2015). Revised stratigraphy of neogene strata in the Cocinetas Basin, La Guajira, Colombia. *Swiss Journal of Paleontology*.1-39.

Murray, J.W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific and Technical, Harlow. 397 p.

Murray, J.W., 2006. Ecology and application of benthic foraminifera. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 426 pp.

Nomura, R., y Seto, K., 1992. Benthic foraminifera from brackish Lake Nakanoumi, San-in district, southwestern Honshu, Japan. *Cent. of Japan. Micropal*, 227-240.

Petters, V., y Sarmiento, S., 1956. Oligocene and Lower Miocene Biostratigraphy of the Carmen-Zambrana Area, Colombia. *Micropaleontology*, 7-35.

Phleger, F.B., Parker, F.L., 1951. Ecology of foraminifera, northwest of Gulf of Mexico. Part II. Foraminifera species. Geological Society of America Memoir 46. Waverly Press Inc. Baltimore, Maryland. 87 p .

Phleger, F.B., 1960. Ecology and distribution of recent foraminifera. Johns Hopkins press, Baltimore. 297 p.

Poag, C.W., 1978. Paired foraminiferal ecophenotypes in Gulf Coast estuaries: Ecological and paleoecological implications. Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies 28: 395-421.

Porta, J., 1974. Léxico estratigráfico de Colombia, Volume V, Fascicule 4 b. *Colombia, (deuxième partie), Tertiaire et Quaternaire. Centre National De La Recherche Scientifique*, 15. 625 p.

Postuma, J.A., 1971. Manual of Planktonic Foraminifera. Amsterdam, Elsevier Publishing Co. 420 p.

Quiroz, L.I., y Jaramillo, C.A., 2010. Stratigraphy and sedimentary environments of Miocene shallow to marginal marine deposits in the Urumaco Trough, Falcon Basin, western Venezuela. *Urumaco and Venezuelan Paleontology*, 153-172.

Redmond, C.D., 1953. Miocene foraminifera from the Tubara beds of northern Colombia. *Journal of Paleontology*, 708-733.

Reolid, M., Nagy, J., Rodríguez-Tovar, F. J., Olóriz, F., 2008. Foraminiferal assemblages as palaeoenvironmental bioindicators in Late Jurassic epicontinental platforms: relation with trophic conditions. *Acta Palaeontologica Polonica*, 53(4), 705-722.

Renz, H.H., 1948. Stratigraphy and fauna of the Agua Salada Group, State of Falcon, Venezuela. *Geol. Soc. Am, Mem.* 32: 1-219.

Renz, O., 1960. Geología de la parte sureste de la península de La Guajira (República de Colombia). *Boletín de Geología Publicación Especial*, 3(1), 317-347.

Rey, O.T., 1996. Estratigrafía de la Península de Paraguaná, Venezuela, *Rev. Fac. Ingeniería*, 11(1): 35-45.

Riggs, S.R., 1987. Model of Tertiary phosphorites on the world's continental margins. In *Marine Minerals*; in Teleki, P. (Ed), *Marine Minerals: Advances in research and resource assessment*, NATO ASI Series C, v. 194. D. Reisel Publishing Co. Boston, Massachusetts, pp. 99-118.

Rincón, D., Arenas, J.E., Cuartas, C.H., Cárdenas, A.L., Molineros, C.E., Caicedo, C., Jaramillo, C., 2007. Eocene-Pliocene planktonic foraminifera biostratigraphy from the continental margin of the southwest Caribbean. *Stratigraphy*, 4, *Stratigraphy* 4, 261-311.

Rollins, J.F., 1965. Stratigraphy and structure of the Goajira peninsula, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. *University Nebraska Studies*, 30, p. 1-44.

Smith, C.J., Collins, L.S., Jaramillo, C., Quiroz, L.I., 2010. Marine paleoenvironments of Miocene-Pliocene formations of north-central Falcón state, Venezuela. *The Journal of Foraminiferal Research*, 40(3), 266-282.

Sneath, P.H. y Sokal, R.R., 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman and co., San Francisco, C.A., 573 p.

Sun, J. y Zhang, Z. 2008. Palynological evidence for the mid-Miocene climatic optimum recorded in Cenozoic sediments of the Tian Shan Range, northwestern China. *Global and Planetary Change*, 64(1), 53-68.

Távora, V.A. y Fernandes, J.M.G., 1999. Estudio de los foraminíferos de la Formación Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil, y su correlación con faunas del Caribe. *Revista Geológica de América Central*, n. 22, p. 59-70.

Thomas, D., 1972. The Tertiary Geology and Systematic Paleontology (Phylum Mollusca) of the Guajira Península, Colombia, South America. Ph.D. thesis, Dept. School of the State University of New York at Binghamton. Department of Geological Sciences and Environmental Studies. 147 p.

Tipper, J.C., 1979. Rarefaction and rarefaction-the use and abuse of a method in paleoecology. *Paleobiology*, 423-434.

Vargas, C.A., Montes, L.A., Ortega, C., 2012. Geología estructural y estratigrafía del área Majayura (Guajira). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(140), 385-398.

Velásquez, J., López-Angarita, J., Sánchez, J.A., 2011. Evaluation of the FORAM index in a case of conservation. *Biodiversity and Conservation*, 20(14), 3591-3603.

Vénec-Plyré, M.T., 1983. Étude de la croissance et de la variabilité chez un foraminifère benthique littoral *Ammonia beccarii* (Linné) en Méditerranée occidentale». *Cahiers de Micropaléontologie*, 2:1—31.

Wheeler, C.B., 1963. Oligocene and lower Miocene stratigraphy of western and northeastern Falcón Basin, Venezuela. *AAPG Bulletin*, 47(1), 35-68.

Wilson, B., 2004. Benthonic foraminiferal paleoecology across a transgressive-regressive cycle in the Brasso Formation (Early-Middle Miocene) of central Trinidad. *Caribbean Journal of Science*, 40(1), 126-138.

Wilson, B., 2005. Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy and Paleo-Ecology of the Brasso Formation (Middle Miocene) at St. Fabien Quarry, Trinidad, West Indies. *Caribbean Journal of Science*, 41(4), 797-803.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), 686-693.

Zapata, V., 2010. Estratigrafía de las Unidades Sedimentarias del Paleógeno Superior y Neógeno en la Alta Guajira, Colombia. (Master), Universidad Nacional de Colombia, 108 p.

7. Anexos

7.1. Anexo 1. Placas de foraminíferos identificados en el estudio.

Plate 1

1. *Textularia falconensis* Cushman y Renz

Formación Castilletes, muestra 34958. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista frontal, 510x.

2. *Textularia panamensis* Cushman

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista apertural, 510x; c. vista frontal, 510x.

3. *Quinqueloculina lamarckiana* d'Orbigny

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista posterior, 100x. SEM: c. vista frontal, 510x; d. vista posterior, 510x.

4. *Quinqueloculina laevigata* d'Orbigny

Formación Castilletes, muestra DDS028. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista posterior, 100x. SEM: c. vista posterior, 510x; d. vista frontal, 510x.

Plate 1

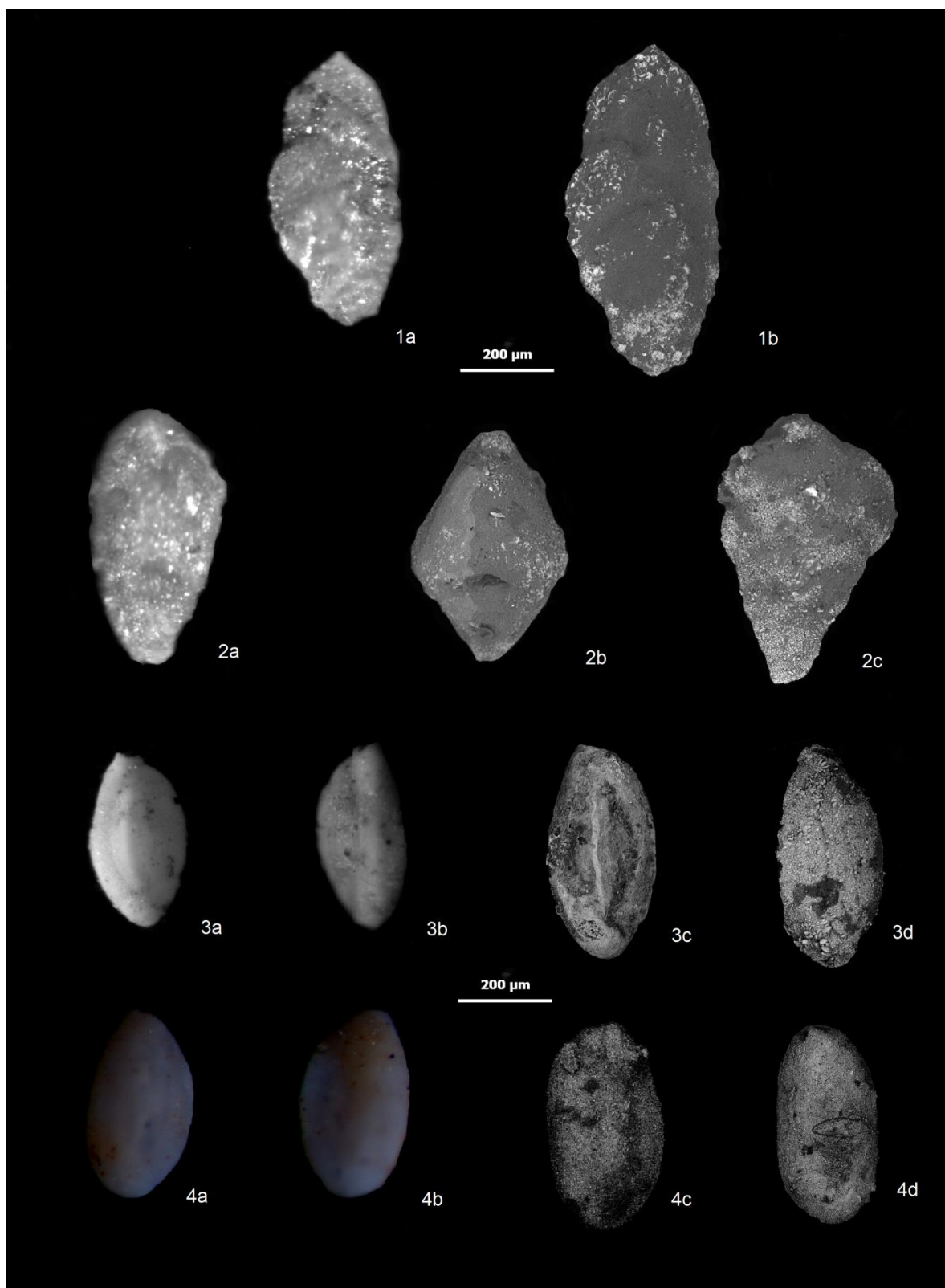


Plate 2

1. *Quinqueloculina costata* d'Orbigny

Formación Castilletes, muestra DDS028. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 330x.

2. *Quinqueloculina* cf. *seminulum* (Linné)

Formación Castilletes, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 510x.

3. *Massilina quadrans* Cushman y Ponton

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS009. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista apertural, 330x; e. vista posterior, 330x.

4. *Triloculina trigonula* (Lamark)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS028. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista apertural, 510x; e. vista frontal, 510x.

Plate 2

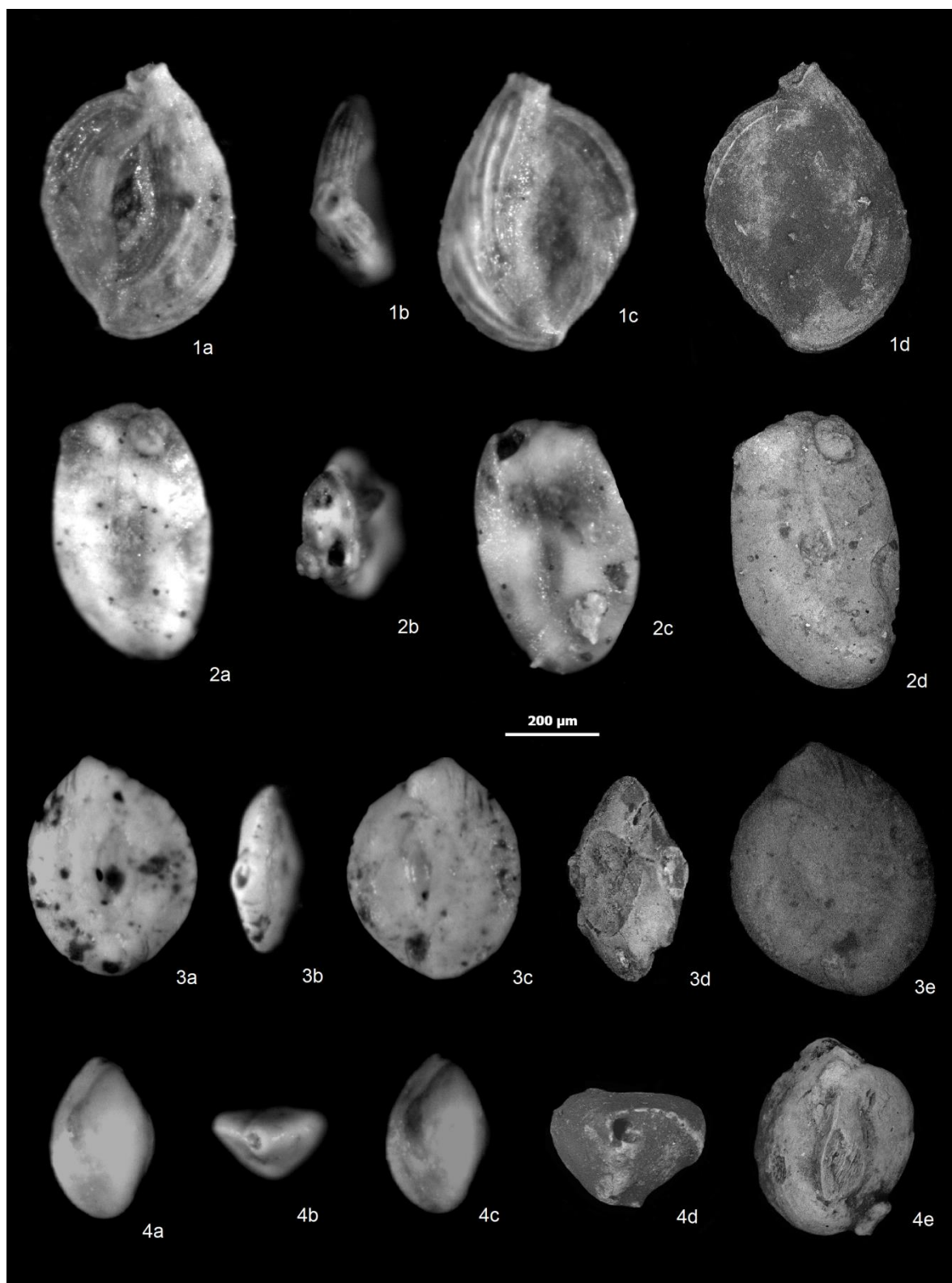


Plate 3

1. *Lenticulina americana* (Cushman)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista posterior, 330x.

2. *Lenticulina iota* (Cushman)

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x. SEM: c. vista apertural, 330x; d. vista posterior, 330x.

3. *Lenticulina* sp. 1

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista posterior, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista frontal, 330x.

4. *Nonionella miocenica* Cushman

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS030. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. vista umbilical, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista espiral, 980x.

5. *Nonionella* cf. *danvillensis* How y Wallace

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista umbilical, 100x. SEM: d. vista apertural, 980x; e. vista espiral, 980x.

Plate 3

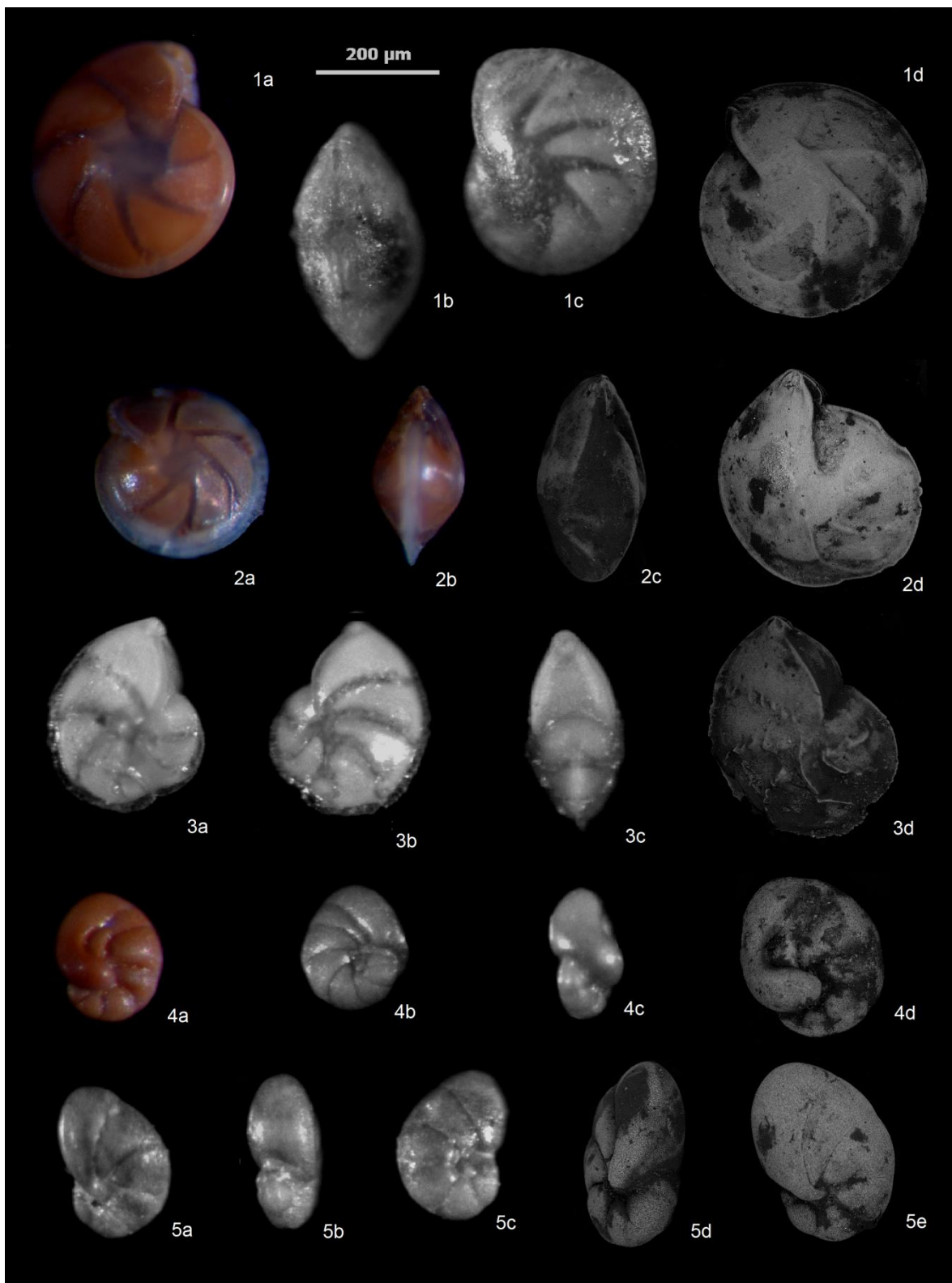


Plate 4

1. *Nonionella* cf. *pulchella* Hada

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. vista umbilical, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista espiral, 980x.

2. *Nonionella* cf. *jacksonensis* Cushman

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista umbilical, 100x. SEM: d. vista espiral, 980x; e. vista umbilical, 980x.

3. *Nonionella obducta* (Cushman y Stevenson)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. vista umbilical, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista umbilical, 770x.

4. *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny)

Formación Castilletes, muestra DDS022. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 1300x.

5. *Elphidium sagrum* (d'Orbigny)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 760x.

Plate 4

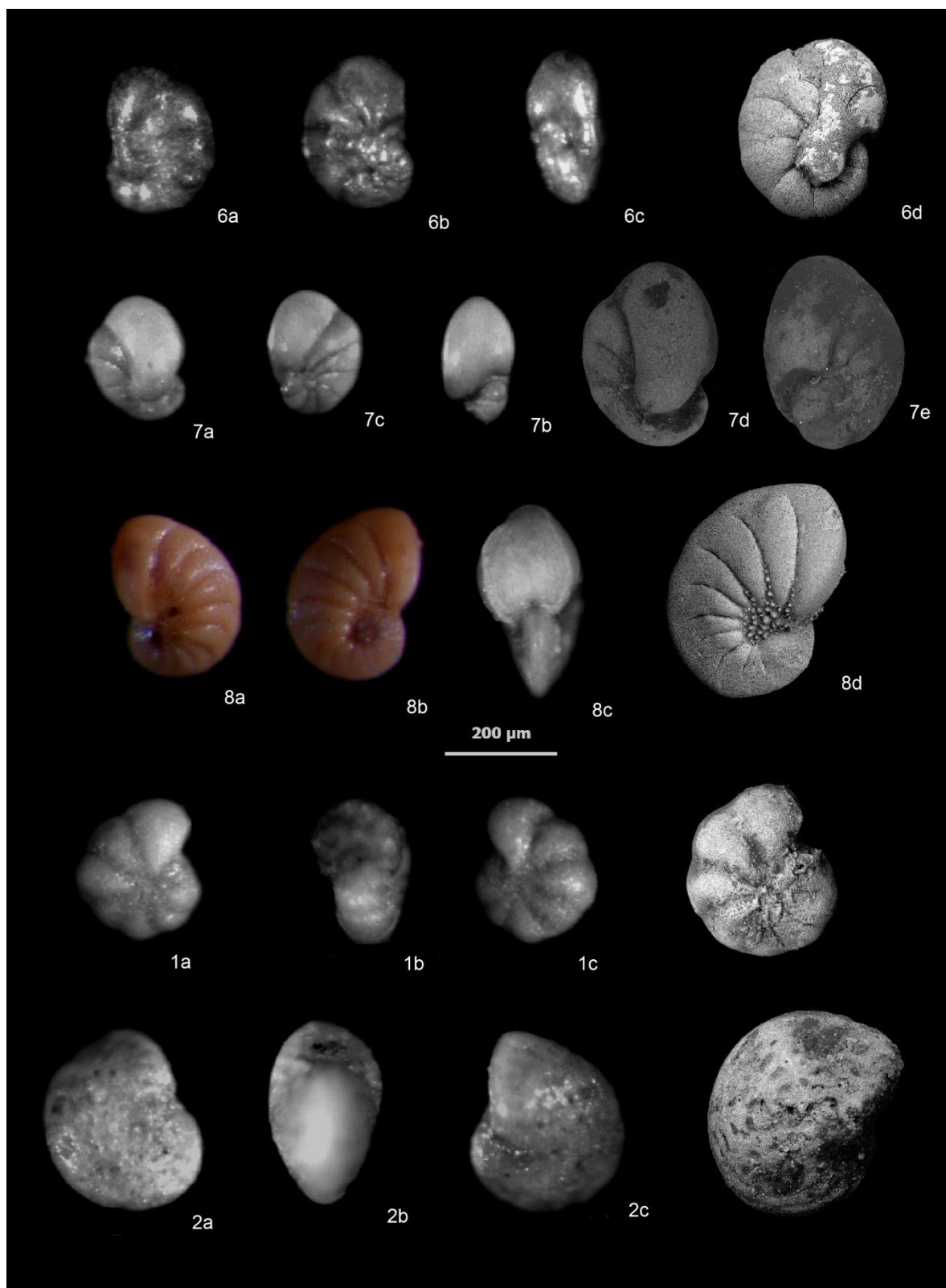


Plate 5

1. *Elphidium* cf. *excavatum* (Terquem)

Formación Castilletes, muestra DDS022. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista posterior, 1150x.

2. *Elphidium* cf. *advenum* (Cushman)

Formación Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 650x.

3. *Elphidium* cf. *chipolensis* (Cushman)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS028. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x.

4. *Bulimina illingi* Cushman y Stainforth

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista frontal, 760x.

5. *Buliminella curta* Cushman

Formación Castilletes, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista frontal, 1050x.

6. *Bolivina* cf. *cochei* Cushman y Adams

Formación Castilletes, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x.

7. *Bolivina pisciformis* Galloway y Morrey

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista posterior, 660x.

8. *Bolivina pozonensis* Cushman y Renz

Formación Castilletes, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b. vista frontal, 760x.

Plate 5

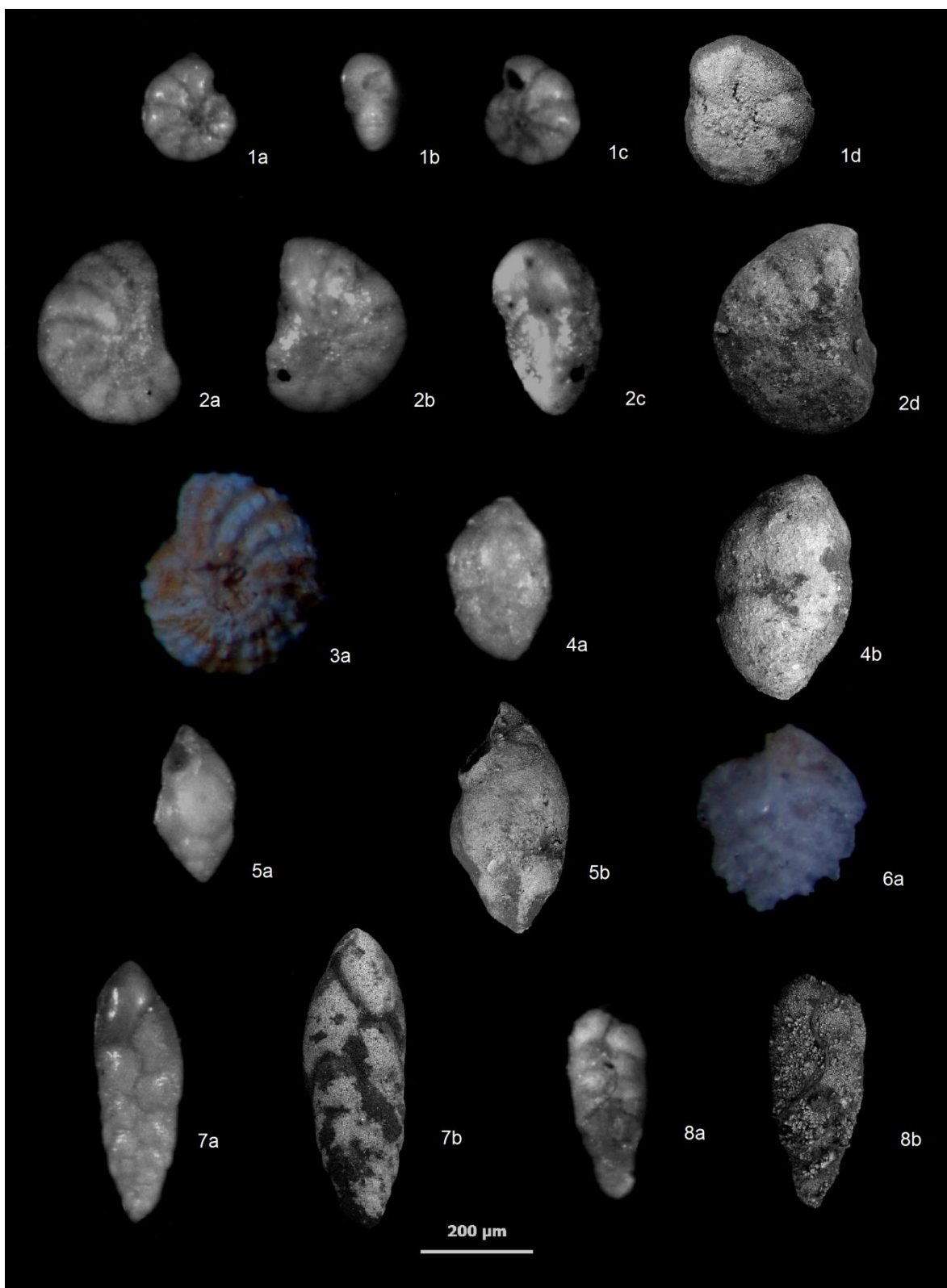


Plate 6

1. *Uvigerina capayana* (Hedberg)

Formación Castilletes, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x. SEM: b, c. vista posterior, 1050x.

2. *Buccella hannai* (Phleger y Parker)

Formación Jimol, muestra DDS007. SEM: a. vista umbilical, 780x.

3. *Valvulineria georgiana* Cushman

Formación Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x.

4. *Uvigerina rustica* Cushman y Edwards

Formación Jimol, muestra DDS008. SEM: a, b. vista frontal, 1050x.

5. *Neoconorbina terquemi* (Rzehak)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista espiral, 100x; b. Vista apertural, 100x; c. vista umbilical, 100x. SEM: d. vista espiral, 830x, e. vista umbilical, 830x.

6. *Cancris panamensis* Natland

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x.

7. *Eponides parantillarum* (Galloway y Heminway)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista apertural, 100x; b. Vista umbilical, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 830x; e. vista espiral, 830x.

8. *Valvulineria venezuelana* Hedberg

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 530x.

Plate 6

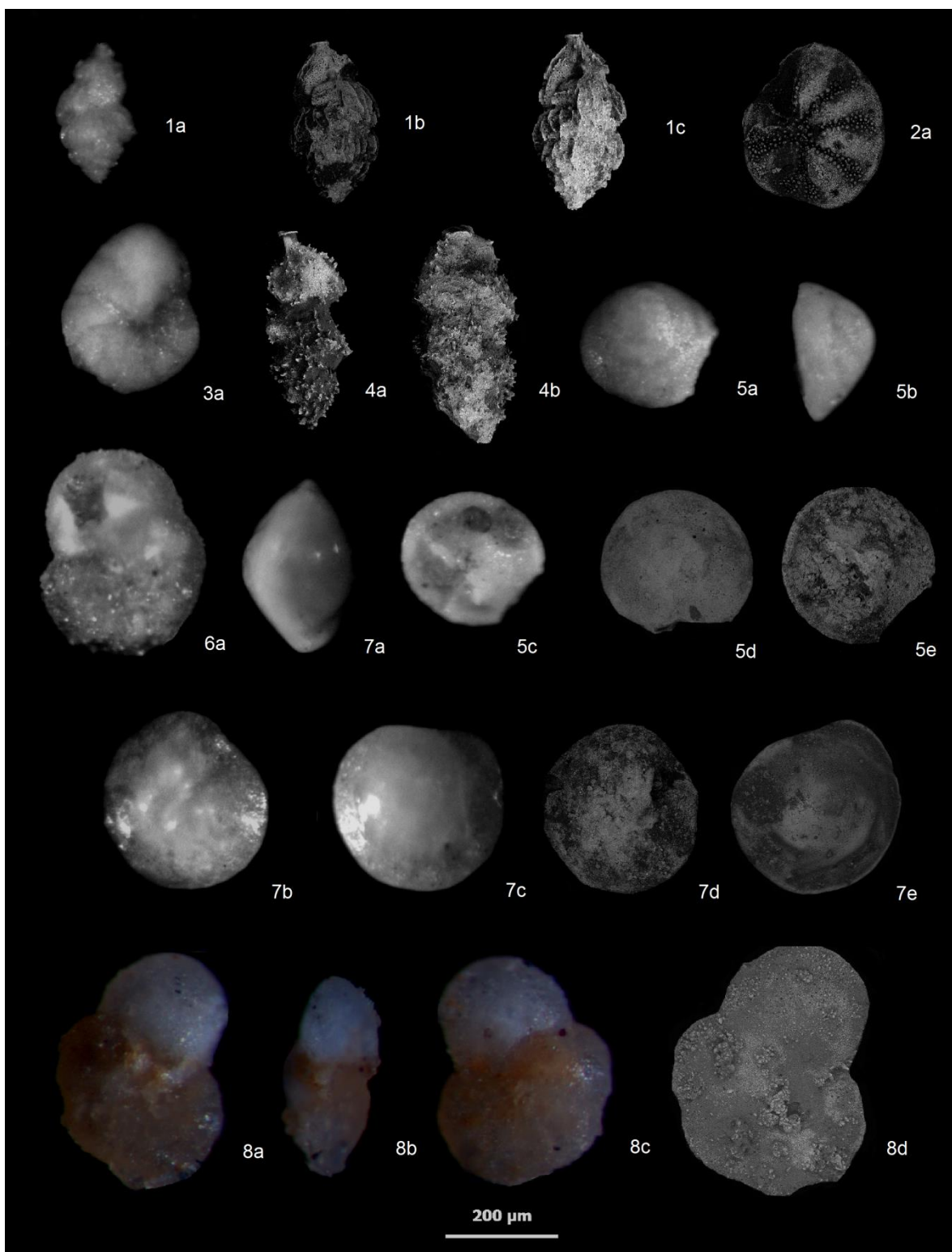


Plate 7

1. *Hanzawaia concentrica* (Cushman)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista espiral, 880x.

2. *Hanzawaia mantaensis* (Galloway y Morrey)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34960. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista espiral, 880x.

3. *Ammonia tepida* (Cushman)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS010. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x.

4. *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra 34951. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 690x.

5. *Amphistegina lessonii* d'Orbigny

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS007. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x. SEM: c. vista frontal, 530x.

Plate 7

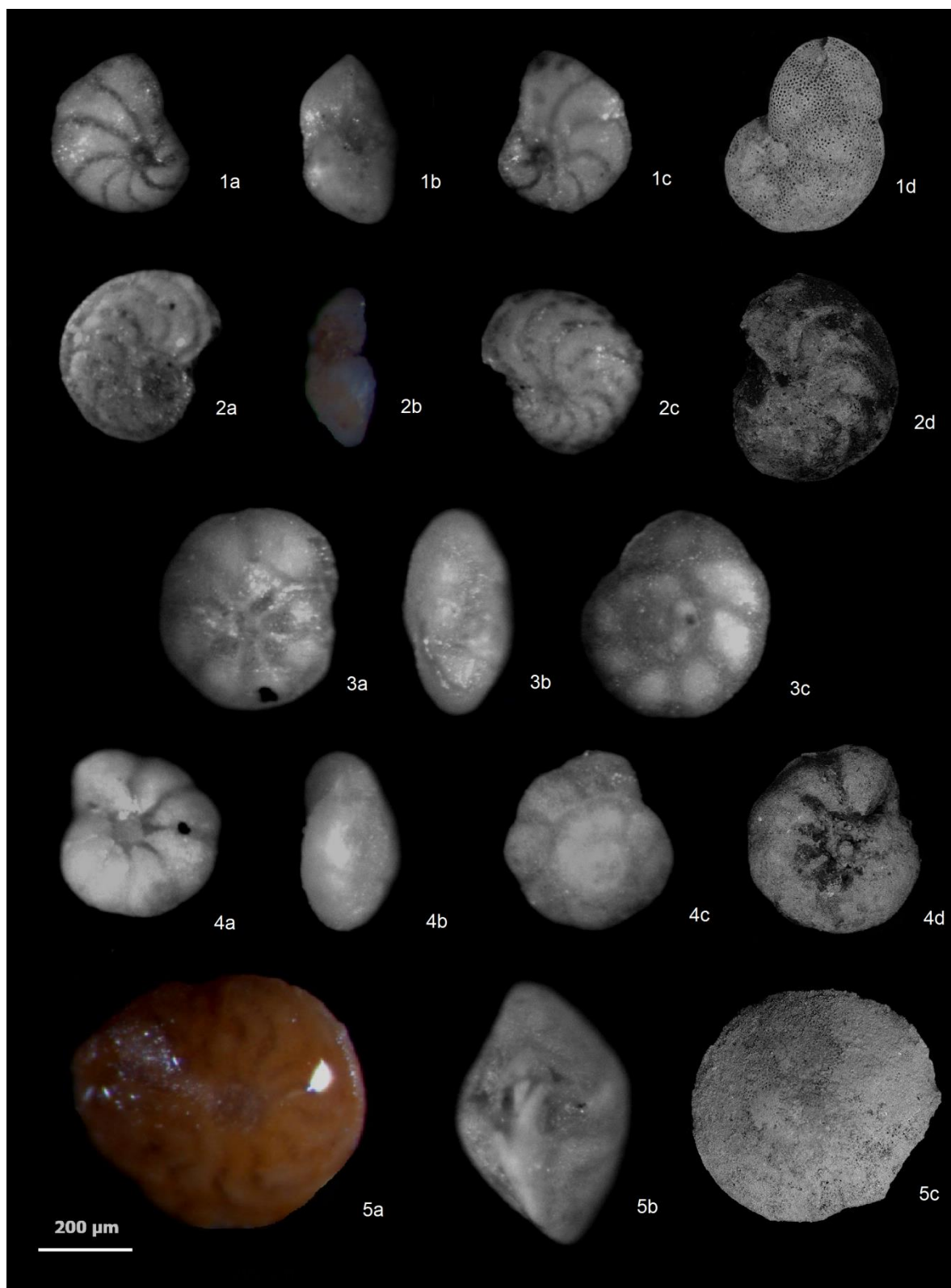


Plate 8

1. *Globigerina praebuloides* Blow

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x; d. vista umbilical, 100x; e. vista apertural, 100x; f. vista espiral, 100x. SEM: g. vista umbilical, 1050x; h. vista apertural, 1050x; i. vista espiral, 1050x.

2. *Globigerina falconensis* Blow

Formación Castilletes, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista espiral, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x.

3. *Globoturborotalita ciperoensis* (Bolli)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x.

4. *Globoturborotalita ouachitaensis* (Howe and Wallace)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x.

5. *Globigerinoides primordius* (Blow and Banner)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista espiral, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x.

Plate 8

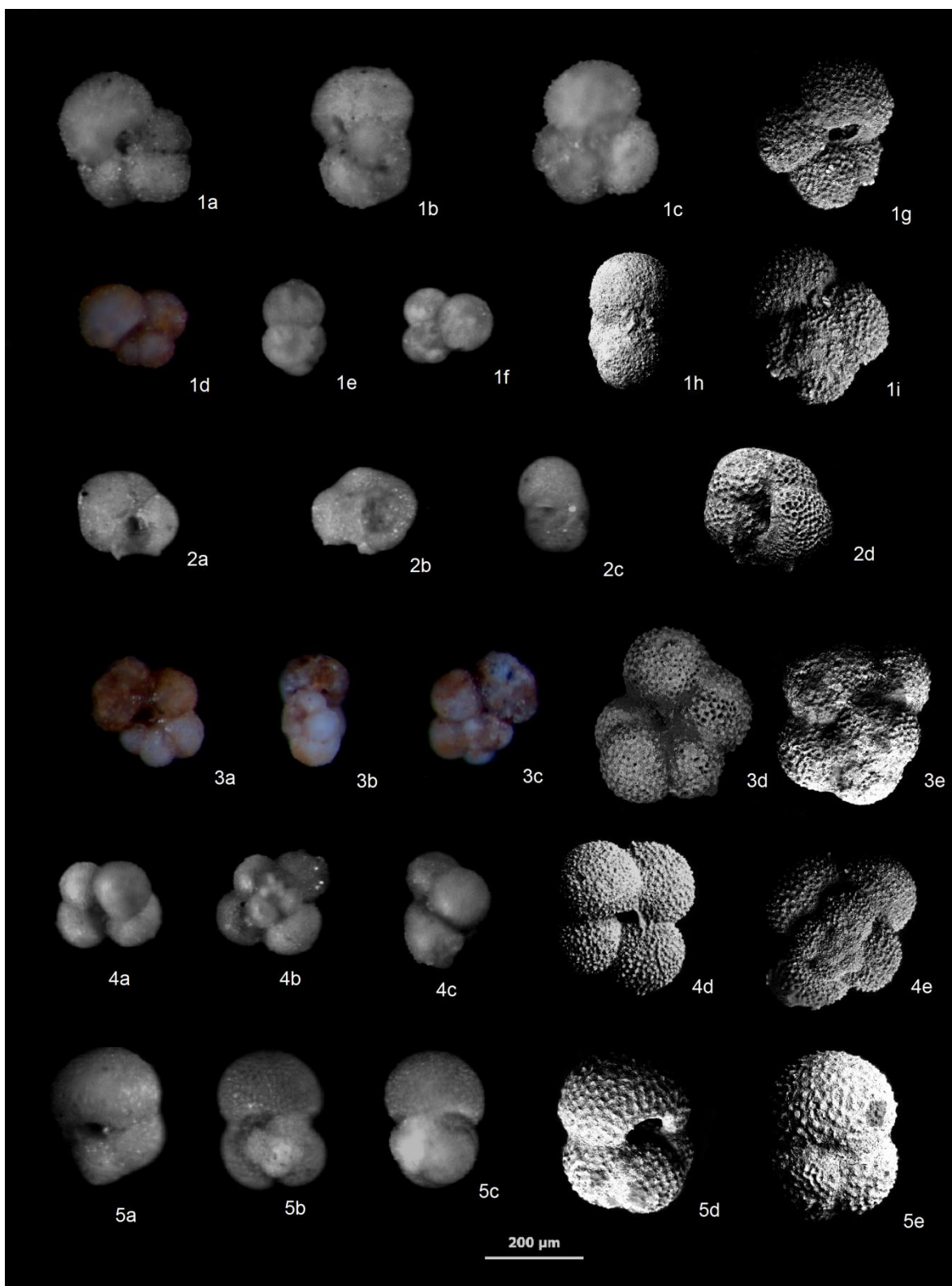


Plate 9

1. *Globigerinoides altiapertura* (Bolli)

Formación Jimol, muestra DDS028. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x; vista apertural, 1050x.

2. *Globigerinoides subquadratus* (Brönnimann)

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x; f. vista apertural, 1050x.

3. *Globigerinoides bulloideus* Crescenti

Formación Castilletes, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista espiral, 1050x; f. vista apertural, 1050x.

4. *Globigerinoides triloba* Reuss

Formaciones Castilletes y Jimol, muestra DDS026. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista inferior, 100x; c. vista posterior, 100x. SEM: d. vista frontal, 1050x; e. vista posterior, 1050x.

5. *Sphaeroidinellopsis* cf. *disjuncta* (Finlay)

Formación Castilletes, muestra DDS030. Estereomicroscopio: a. vista frontal, 100x; b. vista posterior, 100x; c. vista apertural, 100x. SEM: d. vista posterior, 1050x.

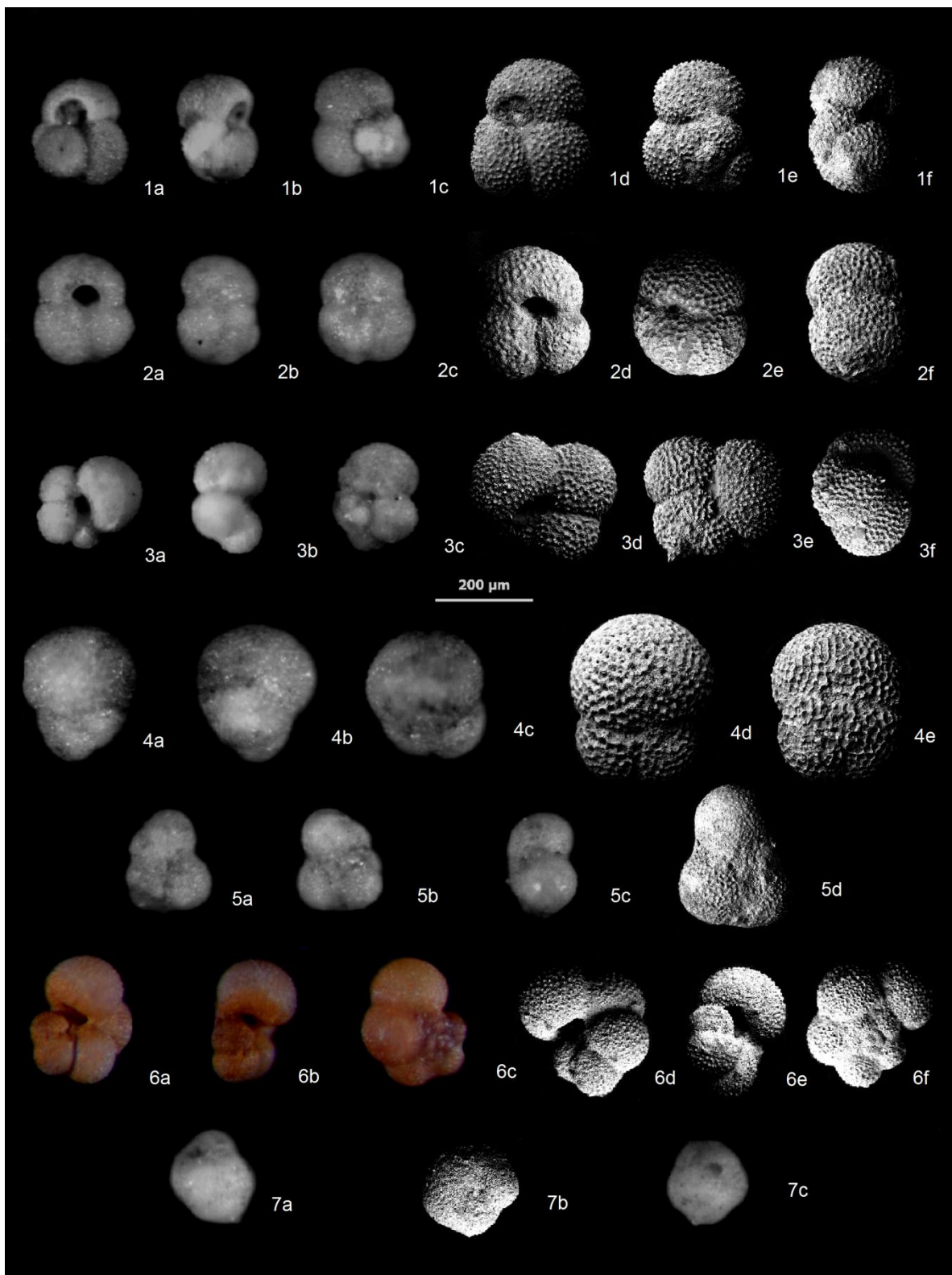
6. *Paragloborotalia mayeri* (Cushman y Ellisor)

Formación Jimol, muestra DDS008. Estereomicroscopio: a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x; c. vista espiral, 100x. SEM: d. vista umbilical, 1050x; e. vista apertural, 1050x; f. vista espiral, 1050x.

7. *Globigerinita* cf. *uvula* (Ehrenberg)

Formación Castilletes, muestra DDS030. a. Estereomicroscopio: vista apertural, 100x; c. vista frontal, 100x. SEM: b. vista apertural, 1050x.

Plate 9



7.2. Anexo 2. Listado de los foraminíferos bentónicos colectados en las Formaciones Jimol y Castilletes con sus respectivas frecuencias relativas

	DDS003	34951	DDS029	DDS028	34960	DDS026	DDS023	DDS022	DDS030	34958	DDS010	DDS007	DDS008	DDS009
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0,515	0,997		0,037	0,093	0,212	0,890	0,463	0,518	0,898	0,789	0,020		0,973
<i>Ammonia tepida</i>			0,020			0,004	0,088	0,204	0,014		0,204			
<i>Ammonia sp.</i>							0,004	0,010						
<i>Nonionella miocenica</i>									0,007				0,005	
<i>Nonionella cf. danvillensis</i>									0,014				0,273	
<i>Nonionella cf. pulchella</i>													0,015	
<i>Nonionella cf. jacksonensis</i>													0,020	
<i>Nonionella obducta</i>				0,013	0,245	0,004		0,007	0,018	0,053		0,003	0,263	
<i>Nonionella sp.</i>					0,007									
<i>Cancris panamensis</i>					0,021							0,007		
<i>Hanzawaia sp.</i>					0,066		0,004							
<i>Hanzawaia mantaensis</i>					0,117	0,112		0,044				0,069		
<i>Hanzawaia concentrica</i>	0,109			0,138	0,300	0,524		0,119	0,317	0,004		0,226		0,014
<i>Neconorbina terquemi</i>	0,010								0,004			0,032	0,015	
<i>Eponides parantillanum</i>					0,003	0,004			0,004			0,016	0,010	
<i>Buccella hanna</i>												0,003		
<i>Eponides sp.</i>												0,007		
<i>Bolivina cf. cochei</i>					0,003									
<i>Bolivina pisciformis</i>					0,007								0,005	
<i>Bolivina pozonensis</i>					0,003	0,019								
<i>Lenticulina americana</i>												0,007	0,132	
<i>Lenticulina iota</i>													0,029	
<i>Lenticulina cultrata</i>													0,010	
<i>Amphistegina lessonii</i>				0,034	0,007	0,019		0,007				0,361		0,003
<i>Rosalina sp.</i>				0,024	0,003									
<i>Elphidium sp.</i>								0,007						
<i>Elphidium poeyanum</i>								0,044			0,003			
<i>Elphidium Sagrum</i>								0,003				0,020		
<i>Elphidium cf. excavatum</i>								0,054						
<i>Elphidium cf. advenum</i>												0,007		
<i>Elphidium cf. chipolensis</i>				0,020								0,010		
<i>Valvulineria georgiana</i>												0,003		
<i>Valvulineria venezuelana</i>					0,017								0,005	
<i>Bulimina illingi</i>													0,005	
<i>Bulimina curta</i>						0,007								
<i>Uvigerina rustica</i>													0,037	
<i>Uvigerina capayana</i>					0,003	0,004							0,026	
<i>Rotalido indeterminado</i>	0,010				0,014	0,004		0,034	0,011					
<i>Quinqueloculina sp.</i>	0,257			0,071		0,019		0,003			0,003			
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	0,089	0,003		0,007	0,028	0,019	0,011		0,083	0,018		0,013	0,146	
<i>Quinqueloculina laevigata</i>			0,832	0,259	0,041				0,011	0,014				
<i>Triloculina trigonula</i>			0,129	0,377		0,045	0,004					0,197		0,003
<i>Quinqueloculina costata</i>				0,003										
<i>Quinqueloculina seminulum</i>				0,007		0,007								
<i>Massilina quadrans</i>			0,010											0,006
<i>Miliolido indeterminado</i>				0,010										
<i>Textularia falconensis</i>										0,004				
<i>Textularia panamensis</i>	0,010		0,010		0,021					0,011			0,005	
<i>Eggerella sp.</i>													0,005	